

PTENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication No : 60-236277

(43)Date of publication of application : 25.11.1985

(51)Int.CL. H01S 3/30

3/094

H04B 9/00

(21)Application No : 59-92720

(22)Date of filing : 9.05.1984

(71)Applicant : Polaroid Corporation

(72)Inventor : John W.Hicks

(54)Optical Fiber Communication Device

(57)Abstract

An optical fiber communication device that the present invention provides includes, corresponding to the above and other objects, one or more optical fiber lines that are connected to define the optical fiber communication device, a signal sending device that is connected to the optical fiber line and that sends an information holding signal into the optical fiber line, and a signal amplifying device that is connected to the optical fiber line and that amplifies an information holding signal by an optical unit.

The signal sending device is preferably a signal generator that generates a modulated signal for each wavelength. The signal generator is connected through optical fibers for connection that have a length selected by a Fabry-Perot interferometer, is tunable to stably provide a signal source, and includes a gain medium that can be urged.

The signal amplifying device of the present invention has a configuration in which a Raman pumping beam is introduced into the optical fiber line to increase an energy level of the information holding signal.

An information holding signal is easily amplified by a genuine optical device, and bad effects due to attenuation are compensated in the optical fiber communication device of the present invention, so that integrity of the optical fiber line is not impaired. Furthermore, a wavelength modulating device is also included in which a plurality of information holding channels for each wavelength

can be transmitted through optical fibers and the information holding channels for each wavelength can be uniformly amplified by the signal amplifying device.

Novel various characteristics that are taken as a principle of the present invention are described in claims in detail. A configuration of the optical fiber communication device, a method of operating the device, various objects, and various advantages of the present invention are described below in an embodiment while referring to accompanying drawings. The same component in each of the accompanying drawings is designated as the same reference numeral.

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-236277

⑬ Int. Cl.⁴H 01 S 3/30
3/094
H 04 B 9/00

識別記号

庁内整理番号

6370-5F
6370-5F
A-6538-5K

⑭ 公開 昭和60年(1985)11月25日

審査請求 未請求 発明の数 12 (全29頁)

⑮ 発明の名称 光ファイバ通信装置

⑯ 特 願 昭59-92720

⑰ 出 願 昭59(1984)5月9日

⑱ 発 明 者 ジョン ウイルバー アメリカ合衆国マサチューセッツ州ノースボロウ、ハワード ストリート 312
 ヒックス
 ⑲ 出 願 人 ポラロイド コーポレ アメリカ合衆国マサチューセッツ州ケンブリッジ、テクノロジー スクウェア 549
 ーション
 ⑳ 代 理 人 弁理士 浅 村 皓 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

光ファイバ通信装置

2. 特許請求の範囲

(1) 光ファイバ伝送線路と、該光ファイバ伝送線路に結合せしめられて該光ファイバ伝送線路上へ、複数の情報保持光信号であつてそれぞれが所定波長の別々のチャネルによつて搬送されるような該複数の情報保持光信号を導入し、該光ファイバ伝送線路によつて伝送されるようにする情報保持光信号導入装置と、該情報保持光信号導入装置の下流の所定位置において前記光ファイバ伝送線路に結合せしめられて全ての該情報保持光信号を集団的に光増幅する光増幅装置と、を備えている光ファイバ通信装置。

(2) 特許請求の範囲第1項において、前記増幅装置が、前記情報保持光信号の波長に対してあらかじめ選択された波長を有する光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入することにより全ての前記情報保持光信号を誘導ラマン散乱によつて集

团的に増幅する装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

(3) 特許請求の範囲第2項において、前記光ファイバ伝送線路のコアを作る材料のラマン利得曲線が、前記光エネルギーの波数と前記情報保持光信号に対応する波数との波数差の関数として変化し、前記光エネルギーの波長と前記情報保持光信号を搬送する前記チャネルの選択された1つの波長との間の所定の波数差の位置にピークを有し、該ピーク利得の両側へ徐々に減少し、全ての前記チャネルを包含するような波数差範囲を有している、光ファイバ通信装置。

(4) 特許請求の範囲第3項において、全ての前記チャネルが、前記ラマン利得曲線において、前記ピーク利得のプラスまたはマイナス25%に対応する波数差の範囲内に含まれている、光ファイバ通信装置。

(5) 特許請求の範囲第2項において、前記光エネルギー導入装置がさらに、前記光ファイバ伝送線路上へ相互に間隔をもち、かつ前記最初の光エネルギー

の、前記波長からも間隔をもつた波長を有する追加の光エネルギーを導入するように構成されていることによつて、前記情報保持光信号の追加の光増幅を行なうようになっている、光ファイバ通信装置。

(6) 特許請求の範囲第5項において、前記伝送線路上へ導入される全ての光エネルギーの相隣る波長が、前記情報保持光信号を妨害するブリルアン後方散乱の効果を最小化するのに十分な量の波数間隔をもっている、光ファイバ通信装置。

(7) 特許請求の範囲第6項において、前記相隣る波長が、前記コア材料においてブリルアン後方散乱が起こる領域に対応する波数差に等しいか、またはそれより大である波数間隔だけ隔たっている、光ファイバ通信装置。

(8) 特許請求の範囲第7項において、前記相隣る波長が少なくとも1.0オングストローム離れている、光ファイバ通信装置。

(9) 特許請求の範囲第6項において、前記諸チャネルが一様に増幅されうるために属すべき帯域幅

を実質的に広げるのに十分な量の間隔を前記相隣る波長間に与えることにより、そうしない場合よりも多くのチャネルが前記通信装置において集团的に増幅されうるようにされた、光ファイバ通信装置。

00 特許請求の範囲第9項において、前記相隣る波長間の間隔が、前記ラマン利得曲線における前記ピーク利得のプラスまたはマイナス25%に対応する波数差範囲より大でない、光ファイバ通信装置。

01 特許請求の範囲第7項において、前記追加の光エネルギーおよび前記最初の光エネルギーが別々の源から供給され、それぞれの該源が該追加の光エネルギーおよび該最初の光エネルギーのそれぞれの波長に対応した波長を有している、光ファイバ通信装置。

02 特許請求の範囲第5項において、前記追加の光エネルギーおよび前記最初の光エネルギーが、該追加のエネルギーおよび該最初のエネルギーに対応した前記諸波長で動作するように変調される単一源か

ら供給される、光ファイバ通信装置。

03 特許請求の範囲第2項において、前記増幅装置がさらに、前記第1のあらかじめ選択された波長から間隔をもつた少なくとも第2のあらかじめ選択された波長の光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入するように構成されている、光ファイバ通信装置。

04 特許請求の範囲第5項において、前記増幅装置によつて増幅されるチャネルの数が、該増幅装置が前記第1のあらかじめ選択された波長の光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入する装置のみを含んでいる場合よりも大である、光ファイバ通信装置。

05 特許請求の範囲第5項において、全ての前記情報保持光信号を、前記増幅装置が前記第1のあらかじめ選択された波長の光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入する装置のみを含んでいる場合よりも大きく、前記増幅装置が増幅するようになっている、光ファイバ通信装置。

06 特許請求の範囲第2項において、前記増幅装

置が、第1のあらかじめ選択された波長および少なくとも第2のあらかじめ選択された波長の光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入する装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

07 特許請求の範囲第2項または第13項において、前記情報保持光信号を増幅するために前記光ファイバ伝送線路上へ導入された前記光エネルギーが、該光ファイバ伝送線路の連続部分において該情報保持光信号と組合わされるようになっている、光ファイバ通信装置。

08 特許請求の範囲第2項または第13項において、前記情報保持光信号の光増幅を行なうために前記光ファイバ伝送線路上へ前記光エネルギーを導入する前記装置が、該光ファイバ伝送線路に横方向結合せしめられている、光ファイバ通信装置。

09 特許請求の範囲第18項において、前記光エネルギー導入装置が光エネルギー源として少なくとも1つのレーザダイオードを含んでいる、光ファイバ通信装置。

00 特許請求の範囲第18項において、前記光エ

エネルギー導入装置が、相異なる波長の出力スペクトルを有する第1レーザダイオードと少なくとも1つの他のレーザダイオードとを有する、光ファイバ通信装置。

Q1 特許請求の範囲第18項において、前記光エネルギー導入装置が、前記伝送線路に横方向結合せしめられた光ファイバタップと、該光ファイバタップにそれぞれの第1カップラファイバを経て横方向結合せしめられた第1レーザダイオードと、前記光ファイバタップにそれぞれの他の光ファイバ結合を経て結合せしめられた少なくとも1つの他のレーザダイオードと、を備えている、光ファイバ通信装置。

Q2 特許請求の範囲第21項において、前記第1のレーザダイオードおよび前記他のレーザダイオードの前記それぞれの横方向結合が波長選択的になつていないことにより、該レーザダイオードの一方から出る光エネルギーが該レーザダイオードの他方へ入らないようにされている、光ファイバ通信装置。

記出力レベル情報にตอบสนองして制御する装置をさらに備えている、光ファイバ通信装置。

Q3 特許請求の範囲第25項において、前記第1レーザダイオードおよび少なくとも1つの他のレーザダイオードの出力レベルを制御する前記装置が、前記伝送線路から光エネルギーを取出す装置と、該伝送線路からエネルギーを取出す該装置に結合せしめられ該取出されたエネルギーのレベルを検出する装置と、該検出装置と前記第1レーザダイオードおよび少なくとも1つの他のレーザダイオードとの間に接続されこれらのレーザダイオード出力を前記伝送線路から取出された前記光エネルギーにตอบสนองして制御する装置と、を備えている、光ファイバ通信装置。

Q4 特許請求の範囲第25項において、前記光ファイバ伝送線路から光エネルギーを取出す前記装置の上流に挿入された広帯域フィルタを備えている、光ファイバ通信装置。

Q5 特許請求の範囲第8項において、前記コア材料が融解シリカまたはドーパされた融解シリカか

ら成る、光ファイバ通信装置。

Q6 特許請求の範囲第22項において、前記長波長レーザダイオードの光出力が前記短波長レーザダイオードの出力によつて行なわれるラマン増幅による利得増を補償するように調節されている、光ファイバ通信装置。

Q7 特許請求の範囲第21項において、前記伝送線路に結合せしめられて、該線路から出力レベル情報を取り出し、該取出された出力レベル情報を発する信号を該伝送線路を経て前記第1レーザダイオードおよび少なくとも1つの他のレーザダイオードへ送り、それらのそれぞれの出力を前記伝送線路から取出された前記出力レベル情報にตอบสนองして制御するための装置をさらに備えている、光ファイバ通信装置。

Q8 特許請求の範囲第20項において、前記伝送線路に結合せしめられて該線路から出力レベル情報を取り出すようになっていないとともに、前記第1レーザダイオードおよび少なくとも1つの他のレーザダイオードにも結合せしめられていて、それらの出力レベルを前記伝送線路から取出された前

ら成る、光ファイバ通信装置。

Q9 特許請求の範囲第2項において、前記情報保持信号を増幅するために前記光ファイバ伝送線路上に光エネルギーを導入する前記装置が、光ファイバ結合線路を経てフアブリ・ペロー空胴に結合せしめられた利得媒体を含んでいる、光ファイバ通信装置。

Q10 特許請求の範囲第29項において、前記結合線路が前記フアブリ・ペロー空胴に横方向結合せしめられている、光ファイバ通信装置。

Q11 特許請求の範囲第30項において、前記利得媒体およびフアブリ・ペロー空胴が発振して多波長を有する出力を供給するようになっていない、光ファイバ通信装置。

Q12 特許請求の範囲第2項において、前記情報保持光信号導入装置が少なくともパルス幅特性を有するパルスの形式に情報を符号化するようになっており、前記光エネルギー導入装置の数が少なくとも、増幅前の1パルス内の光子数を前記パルス幅特性における電磁状態数の20倍によつて除算し

たものに等しい、光ファイバ通信装置。

03 特許請求の範囲第2項において、前記情報保持光信号導入装置が、第1波長 λ_0 または第2波長 λ_1 の光出力を発生するように選択的に波長を制御する光エネルギー源を含んでいる、光ファイバ通信装置。

04 特許請求の範囲第3項において、前記第1波長または前記第2波長を有する定振出力を供給する装置をさらに備えている、光ファイバ通信装置。

05 特許請求の範囲第1項において、前記複数の情報チャンネルが個々の該チャンネルの変調速度の3倍より大きくない間隔を有している、光ファイバ通信装置。

06 特許請求の範囲第1項において、前記光信号導入装置が少なくとも1つの信号発生器を有し、該信号発生器が次の各項記載のものを含んでいる光ファイバ通信装置。

イ) 細長い利得媒体。

ロ) 該利得媒体内へエネルギーを導入して該利得

媒体の原子分布数を逆転させることにより該利得媒体がその材料組成の特性による不規則さで相異なる波長をもつた光エネルギーを自然放出するようにする装置。

ハ) 該利得媒体の外部装置であつて、該利得媒体に光結合せしめられており、該利得媒体から光エネルギーを受けて該エネルギーをあらかじめ選択された波長で振動せしめ、該あらかじめ選択された波長の該エネルギーを該媒体を通して帰還することによつて誘導放出による増幅を行ない、それによつて前記信号発生器をして出力として該あらかじめ選択された波長のコヒーレント電磁波を発生せしめるようになっており、前記外部装置が光エネルギーを該あらかじめ選択された波長で振動させるように構成された共振ファイバ空洞を含んでおり、また前記利得媒体から実質的に分離されていることによつて該利得媒体内の状態に比較的影響されないようになっており、そうとなっていない場合には不安定になる前記信号発生器の出力波長が安定化せしめ

られる、前記外部装置。

07 特許請求の範囲第3項において、前記外部装置が前記利得媒体の1端部に鏡を有している、光ファイバ通信装置。

08 特許請求の範囲第3項において、前記外部装置が前記利得媒体の1端部に結合せしめられ該利得媒体から光エネルギーを受けようになつている伝達ファイバセグメントを含んでおり、前記共振ファイバ空洞が該伝達ファイバセグメントに結合せしめられている、光ファイバ通信装置。

09 特許請求の範囲第3項において、前記共振ファイバ空洞が前記伝達ファイバセグメントに横方向結合せしめられたフアブリ・ペロー空洞である、光ファイバ通信装置。

40 特許請求の範囲第3項において、前記共振ファイバ空洞の一部が前記ファイバ伝送線路に横方向結合せしめられ前記信号発生器の出力を該ファイバ伝送線路へ伝えるようになっており、光ファイバ通信装置。

41 特許請求の範囲第3項において、前記信号

発生器が、前記外部装置の特性を変化させることにより少なくとも2つの別個の波長出力を有する前記出力を発生せしめる装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

42 特許請求の範囲第3項において、前記外部装置が、前記共振ファイバ空洞の不必要な共振次数を抑制する装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

43 特許請求の範囲第4項において、前記側部次数抑制装置が、前記利得媒体の前記第1共振ファイバ空洞が結合せしめられている端部とは反対側の端部に結合せしめられた第2共振ファイバ空洞を含んでいる、光ファイバ通信装置。

44 特許請求の範囲第3項において、前記外部装置が前記利得媒体の1端部に結合せしめられて該媒体から光エネルギーを受けようになつている伝達ファイバを含んでおり、前記共振空洞ファイバが該伝達ファイバに結合せしめられており、もう1つの伝達ファイバが前記利得媒体の他端部に結合せしめられて該媒体から光エネルギーを受ける

ようになつており、該第2伝達ファイバに第2共振ファイバ空洞が結合せしめられている、光ファイバ通信装置。

49 特許請求の範囲第44項において、前記第1共振ファイバ空洞および前記第2共振ファイバ空洞の双方がフアブリ・ペロー共振空洞である、光ファイバ通信装置。

49 特許請求の範囲第45項において、前記第1共振空洞および前記第2共振空洞の周波数応答が単一の基本波長に一致するように、これらの共振空洞が構成されている、光ファイバ通信装置。

47 特許請求の範囲第45項において、前記第1共振空洞が2つの所望波長で共振する装置を含んでおり、前記第2共振空洞のフィネス(finesse)が該第1共振空洞の双方の該共振波長を該第2共振空洞の共通の共振線の幅内に存在せしめるようになつている、光ファイバ通信装置。

48 特許請求の範囲第36項において、前記信号発生器の出力を変調して該出力が少なくとも2つの別個の波長を有するようにする装置を該信号発

生器が含んでいる、光ファイバ通信装置。

49 特許請求の範囲第48項において、前記変調装置が前記共振ファイバ空洞に機械的に結合せしめられた圧電結晶を含んでいる、光ファイバ通信装置。

50 特許請求の範囲第1項において、前記光信号導入装置が少なくとも1つの信号発生器を有し、該信号発生器が次の各項記載のものを含んでいる、光ファイバ通信装置。

イ) 1端部に鏡を有する細長い利得媒体と、該利得媒体を付勢する装置とを含む光利得要素。

ロ) 該利得媒体の他端部に結合せしめられた伝達光ファイバ。

ハ) 該伝達ファイバと前記光ファイバ伝送線路の部分とに横方向結合せしめられた光ファイバ・フアブリ・ペロー共振空洞であつて、該ファイバ共振器が該伝達ファイバを経て前記利得媒体へ帰還を与えることにより前記信号発生器をしてレーザ動作せしめて所定の波長および帯域幅を有するコヒーレント電磁波を出力として発生

させるように前記伝達ファイバおよび前記利得媒体に対して構成かつ配置されており、前記ファイバ共振器が前記ファイバ伝送線路の前記部分に対して前記出力が該ファイバ伝送線路に結合せしめられるように構成かつ配置されている、前記光ファイバ・フアブリ・ペロー共振空洞。

51 複数の情報保持光信号のそれぞれが所定波長の別々のチャンネルを用いて光ファイバ伝送線路により伝送されるようになつている光ファイバ伝送装置に用いられる増幅器であつて、該伝送線路上の該信号が導入される位置の下流にある所定位置において該伝送線路に光結合せしめられ全ての該情報保持光信号を集団的に光増幅するようになつている装置を含む、増幅器。

52 特許請求の範囲第51項において、前記増幅装置が、前記情報保持光信号の波長に対してあらかじめ選択された波長を有する光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入することにより全ての前記情報保持光信号を誘導ラマン散乱によつて集団的に増幅する装置を含んでいる、増幅器。

53 特許請求の範囲第52項において、前記光ファイバ伝送線路のコアを作る材料のラマン利得曲線が、前記光エネルギーの波数と前記情報保持光信号に対応する波数との波数差の関数として変化し、前記光エネルギーの波長と前記情報保持光信号を搬送する前記チャンネルの選択された1つの波長との

間の所定の波数差の位置にピークを有し、該ピーク利得の両側へ徐々に減少し、全ての前記チャネルを包含するような波数差範囲を有している、増幅器。

64 特許請求の範囲第53項において、全ての前記チャネルが、前記ラマン利得曲線において、前記ピーク利得のプラスまたはマイナス25%に対応する波数差の範囲内に含まれている、増幅器。

65 特許請求の範囲第52項において、前記光エネルギー導入装置がさらに、前記光ファイバ伝送線路上へ相互に間隔をもち、かつ前記最初の光エネルギーの前記波長からも間隔をもつた波長を有する追加の光エネルギーを導入するように構成されていることによつて、前記情報保持光信号の追加の光増幅を行なうようになつている、増幅器。

66 特許請求の範囲第55項において、前記伝送線路上へ導入される全ての光エネルギーの相隣る波長が、前記情報保持光信号を妨害するブリルアン後方散乱の効果を最小化するのに十分な量の波数間隔をもつている、増幅器。

の源から供給され、それぞれの該源が該追加の光エネルギーおよび該最初の光エネルギーのそれぞれの波長に対応した波長を有している、増幅器。

62 特許請求の範囲第55項において、前記追加の光エネルギーおよび前記最初の光エネルギーが、該追加のエネルギーおよび該最初のエネルギーに対応した前記諸波長で動作するように変調される単一源から供給される、増幅器。

63 特許請求の範囲第52項において、前記増幅装置がさらに、前記第1のあらかじめ選択された波長から間隔をもつた少なくとも第2のあらかじめ選択された波長の光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入するように構成されている、増幅器。

64 特許請求の範囲第55項において、前記増幅装置によつて増幅されるチャネルの数が、該増幅装置が前記第1のあらかじめ選択された波長の光エネルギーを前記ファイバ伝送線路上へ導入する装置のみを含んでいる場合よりも大である、増幅器。

65 特許請求の範囲第55項において、全ての前

67 特許請求の範囲第56項において、前記相隣る波長が、前記コア材料においてブリルアン後方散乱が起こる領域に対応する波数差に等しいか、またはそれより大である波数間隔だけ隔たつている、増幅器。

68 特許請求の範囲第57項において、前記相隣る波長が少なくとも1.0オングストローム離れている、増幅器。

69 特許請求の範囲第56項において、前記諸チャネルが一様に増幅されうるために属すべき帯域幅を実質的に広げるのに十分な量の間隔を前記相隣る波長間に与えることにより、そうしない場合よりも多くのチャネルが前記伝送装置において集团的に増幅されうるようにされた、増幅器。

60 特許請求の範囲第59項において、前記相隣る波長間の間隔が、前記ラマン利得曲線における前記ピーク利得のプラスまたはマイナス25%に対応する波数差範囲より大でない、増幅器。

61 特許請求の範囲第57項において、前記追加の光エネルギーおよび前記最初の光エネルギーが別々

記情報保持光信号を、前記増幅装置が前記第1のあらかじめ選択された波長の光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入する装置のみを含んでいる場合よりも大きく、前記増幅装置が増幅するようになつている、増幅器。

60 特許請求の範囲第52項において、前記増幅装置が、第1のあらかじめ選択された波長および少なくとも第2のあらかじめ選択された波長の光エネルギーを前記光ファイバ伝送線路上へ導入する装置を含んでいる、増幅器。

67 特許請求の範囲第52項または第63項において、前記情報保持光信号を増幅するために前記光ファイバ伝送線路上へ導入された前記光エネルギーが、該光ファイバ伝送線路の連続部分において該情報保持光信号と組合わされるようになつている、増幅器。

68 特許請求の範囲第52項または第63項において、前記情報保持光信号の光増幅を行なうために前記光ファイバ伝送線路上へ前記光エネルギーを導入する前記装置が、該光ファイバ伝送線路に横

方向結合せしめられている、増幅器。

69 特許請求の範囲第68項において、前記光エネルギー導入装置が光エネルギー源として少なくとも1つのレーザダイオードを含んでいる、増幅器。

70 特許請求の範囲第68項において、前記光エネルギー導入装置が、相異なる波長の出力スペクトルを有する第1レーザダイオードと少なくとも1つの他のレーザダイオードとを有する、増幅器。

71 特許請求の範囲第68項において、前記光エネルギー導入装置が、前記伝送線路に横方向結合せしめられた光ファイバタップと、該光ファイバタップにそれぞれの第1カップラファイバを経て横方向結合せしめられた第1レーザダイオードと、前記光ファイバタップにそれぞれの他の光ファイバ結合を経て結合せしめられた少なくとも1つの他のレーザダイオードと、を備えている、増幅器。

72 特許請求の範囲第71項において、前記第1のレーザダイオードおよび前記他のレーザダイオードの前記それぞれの横方向結合が波長選択的になつていることにより、該レーザダイオードの

方から出る光エネルギーが該レーザダイオードの他方へ入らないようにされている、増幅器。

73 特許請求の範囲第72項において、前記長波長レーザダイオードの光出力が前記短波長レーザダイオードの出力によつて行なわれるラマン増幅による利得増を補償するように調節されている、増幅器。

74 特許請求の範囲第71項において、前記伝送線路に結合せしめられて、該線路から出力レベル情報を取出し、該取出された出力レベル情報を表わす信号を該伝送線路を経て前記第1レーザダイオードおよび少なくとも1つの他のレーザダイオードへ送り、それらのそれぞれの出力を前記伝送線路から取出された前記出力レベル情報に回答して制御するための装置をさらに備えている、増幅器。

75 特許請求の範囲第70項において、前記伝送線路に結合せしめられて該線路から出力レベル情報を取出すようになつているとともに、前記第1レーザダイオードおよび少なくとも1つの他のレ

ーザダイオードにも結合せしめられていて、それらの出力レベルを前記伝送線路から取出された前記出力レベル情報に回答して制御する装置をさらに備えている、増幅器。

76 特許請求の範囲第75項において、前記第1レーザダイオードおよび少なくとも1つの他のレーザダイオードの出力レベルを制御する前記装置が、前記伝送線路から光エネルギーを取出す装置と、該伝送線路からエネルギーを取出す該装置に結合せしめられ該取出されたエネルギーのレベルを検出する装置と、該検出装置と前記第1レーザダイオードおよび少なくとも1つの他のレーザダイオードとの間に接続されこれらのレーザダイオード出力を前記伝送線路から取出された前記光エネルギーに回答して制御する装置と、を備えている、増幅器。

77 特許請求の範囲第75項において、前記光ファイバ伝送線路から光エネルギーを取出す前記装置の上流に挿入された広帯域フィルタを備えている、増幅器。

78 特許請求の範囲第58項において、前記コア

材料が融解シリカまたはドーパされた融解シリカから成る、増幅器。

79 特許請求の範囲第52項において、前記情報保持信号を増幅するために前記光ファイバ伝送線路上に光エネルギーを導入する前記装置が、光ファイバ結合線路を経てフアブリ・ペロー空洞に結合せしめられた利得媒体を含んでいる、増幅器。

80 特許請求の範囲第79項において、前記結合線路が前記フアブリ・ペロー空洞に横方向結合せしめられている、増幅器。

81 特許請求の範囲第80項において、前記利得媒体およびフアブリ・ペロー空洞が発振して多波長を有する出力を供給するようになつている、増幅器。

82 特許請求の範囲第52項において、前記情報保持光信号が少なくともパルス幅特性を有するパルスの形式の符号化情報であり、前記光エネルギー導入装置の数が少なくともパルス光子数を前記パルス幅特性における電磁状態数の20倍によつて除算したものに等しい、増幅器。

83 次の各項記載のものを備えている光信号発生器。

- イ) 細長い利得媒体。
- ロ) 該利得媒体内へエネルギーを導入して該利得媒体の原子分布数を逆転させることにより該利得媒体がその材料組成の特性による不規則さで相異なる波長をもつた光エネルギーを自然放出するようにする装置。
- ハ) 該利得媒体の外部装置であつて、該利得媒体に光結合せしめられており、該利得媒体から光エネルギーを受けて該エネルギーをあらかじめ選択された波長で振動せしめ、該あらかじめ選択された波長の該エネルギーを該媒体を通して帰還することによつて誘導放出による増幅を行ない、それによつて前記信号発生器をして出力として該あらかじめ選択された波長のコヒーレント電磁波を発生せしめるようになつており、前記外部装置が光エネルギーを該あらかじめ選択された波長で振動させるように構成された共振ファイバ空洞を含んでおり、

ファイバ空洞の一部がファイバ伝送線路に横方向結合せしめられ前記信号発生器の出力を該ファイバ伝送線路へ伝えるようになつている、光信号発生器。

84 特許請求の範囲第83項において、前記信号発生器が、前記外部装置の特性を変化させることにより少なくとも2つの別個の波長出力を有する前記出力を発生せしめる装置を含んでいる、光信号発生器。

85 特許請求の範囲第83項において、前記外部装置が、前記共振ファイバ空洞の不必要な共振次数を抑制する装置を含んでいる、光信号発生器。

86 特許請求の範囲第89項において、前記偶数次数抑制装置が、前記利得媒体の前記第1共振ファイバ空洞が結合せしめられている端部とは反対側の端部に結合せしめられた第2共振ファイバ空洞を含んでいる、光信号発生器。

87 特許請求の範囲第83項において、前記外部装置が前記利得媒体の1端部に結合せしめられて該媒体から光エネルギーを受けるようになつてい

るまた前記利得媒体から実質的に分離されていることによつて該利得媒体内の状態に比較的影響されないようになつているために、そうになつていない場合には不安定になる前記信号発生器の出力波長が安定化せしめられる、前記外部装置。

88 特許請求の範囲第83項において、前記外部装置が前記利得媒体の1端部に鏡を有している、光信号発生器。

89 特許請求の範囲第83項において、前記外部装置が前記利得媒体の1端部に結合せしめられ該利得媒体から光エネルギーを受けるようになつている伝達ファイバセグメントを含んでおり、前記共振ファイバ空洞が該伝達ファイバセグメントに結合せしめられている、光信号発生器。

90 特許請求の範囲第85項において、前記共振ファイバ空洞が前記伝達ファイバセグメントに横方向結合せしめられたフアブリ・ペロー空洞である、光信号発生器。

91 特許請求の範囲第86項において、前記共振

伝達ファイバを含んでおり、前記共振空洞ファイバが該伝達ファイバに結合せしめられており、もう1つの伝達ファイバが前記利得媒体の他端部に結合せしめられて該媒体から光エネルギーを受けるようになつており、該第2伝達ファイバに第2共振ファイバ空洞が結合せしめられている、光信号発生器。

92 特許請求の範囲第91項において、前記第1共振ファイバ空洞および前記第2共振ファイバ空洞の双方がフアブリ・ペロー共振空洞である、光信号発生器。

93 特許請求の範囲第92項において、前記第1共振空洞および前記第2共振空洞の周波数応答が単一の基本波長に一致するように、これらの共振空洞が構成されている、光信号発生器。

94 特許請求の範囲第92項において、前記第1共振空洞が2つの所望波長で共振する装置を含んでおり、前記第2共振空洞のフィネスが該第1共振空洞の双方の該共振波長を該第2共振空洞の共通の共振線の幅内に存在せしめるようになつてい

る、光信号発生器。

⑨ 特許請求の範囲第83項において、前記信号発生器の出力を変調して該出力が少なくとも2つの別個の波長を有するようにする装置を該信号発生器が含んでいる、光信号発生器。

⑩ 特許請求の範囲第95項において、前記変調装置が前記共振ファイバ空洞に機械的に結合せしめられた圧電結晶を含んでいる、光信号発生器。

⑪ 次の各項記載のものを備えている、光ファイバ伝送線路と共用される光信号発生器。

- イ) 1端部に鏡を有する細長い利得媒体と、該利得媒体を付勢する装置とを含む光利得要素。
- ロ) 該利得媒体の他端部に結合せしめられた伝達光ファイバ。
- ハ) 該伝達光ファイバに横方向結合せしめられ、また光ファイバ伝送線路の部分に結合せしめられた光ファイバ・フアブリ・ペロー共振空洞であつて、該ファイバ共振器が該伝達ファイバを経て前記利得媒体へ帰還を与えることにより前記信号発生器をしてレーザ動作せし

めて所定の波長および帯域幅を有するコヒーレント電磁波を出力として発生させるように前記伝達ファイバおよび前記利得媒体に対して構成かつ配置されており、前記ファイバ共振器が前記出力を前記光ファイバ伝送線路上へ導入するように該光ファイバ伝送線路の部分に結合せしめられて構成かつ配置されている、前記光ファイバ・フアブリ・ペロー共振空洞。

⑫ 光ファイバ通信装置に用いられる単一モード光ファイバであつて、一定の屈折率および所定の熱膨張係数を有する光学的に透明な材料から成るコアと、該コア材料より小な屈折率を有する材料によつて形成されたクラッドであつて該クラッド材料が該コアの周の回りに部分的にのみ接合せしめられていることにより該コアの両側部分にある該コアと該クラッドとの非接合部分の間に間隔を置いた1対の空洞が形成されており該クラッド材料の熱膨張係数が該コアの熱膨張係数と異なっているために該クラッドが該コアに対し該コアおよ

び該クラッドを通る主軸に沿つた永久的な複屈折性応力を及ぼしそれによつて該コアが該軸に平行な1偏波モードのみを伝搬せしめるようになつている前記クラッドと、を有する単一モード光ファイバ。

⑬ 特許請求の範囲第98項において、前記コア、前記クラッド、および前記両空洞が全てほぼ長方形の断面を有している、単一モード光ファイバ。

⑭ 特許請求の範囲第99項において、前記コアが前記クラッドの幾何学的中心の一方の側へ1方向に片寄らしめられており、該クラッド内において該1方向と反対の方向に中心を置いている、単一モード光ファイバ。

(101) 光ファイバ通信装置であつて、多チャネル信号発生装置と、該信号発生装置に結合せしめられた単一モードファイバ伝送線路と、該伝送線路に沿つて配置された1つまたはそれ以上のラマン増幅装置であつて該ラマン増幅装置の数が少なくともパルス光子数を使用されているパルス幅における状態数の20倍によつて除算したものに等しい該ラマン増幅装置と、を備えている光ファイバ通信装置。

(102) 特許請求の範囲第101項において、前記ラマン増幅装置が、ポンプビームを発生する装置と、該ポンプビームと信号ビームとを共通経路に沿つて組合せる装置と、を備えている光ファイバ通信装置。

(103) 光ファイバ通信装置であつて、多チャネル信

号発生装置と、該信号発生装置に結合せしめられた単一モードファイバ伝送線路と、該伝送線路に沿って配置された1つまたはそれ以上のラマン増幅装置であつてそれぞれの該ラマン増幅装置が多スペクトル特性をもつたポンプビームを形成する2つの別個のスペクトル線を有するレーザダイオードを備えている該ラマン増幅装置と、を含む光ファイバ通信装置。

(104) 特許請求の範囲第103項において、前記ラマン増幅装置が、前記ポンプビームと信号ビームとを共通経路に沿って組合せる装置を備えている、光ファイバ通信装置。

(105) 特許請求の範囲第104項において、前記ポンプビームと信号ビームとを組合せる前記装置が前記伝送線路の1部分を含んでいる、光ファイバ通信装置。

(106) 特許請求の範囲第104項において、前記ポンプビームと信号ビームとを組合せる前記装置が該ポンプビームを前記伝送線路に横方向結合せしめる装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

マン増幅装置が、ポンプビームを発生する装置と、該ポンプビームと信号ビームとを共通経路に沿って組合せる装置と、を備えている光ファイバ通信装置。

(111) 特許請求の範囲第110項において、前記ポンプビームと信号ビームとを組合せる前記装置が前記伝送線路の1部分を含んでいる、光ファイバ通信装置。

(112) 特許請求の範囲第110項において、前記ポンプビームと前記信号ビームとを組合せる前記装置が該ポンプビームを前記伝送線路に横方向結合せしめる装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

(113) 光ファイバ通信装置であつて、該通信装置が、多チャネル信号発生装置と、該信号発生装置に結合せしめられた単一モードファイバ伝送線路と、該伝送線路に沿って配置された1つまたはそれ以上のラマン増幅装置と、を備えており、前記信号発生器が第1および第2のフアブリ・ペロー変調装置に結合せしめられたレーザダイオードを有し、かつパルス波長偏移発生器であり、該第2フアブ

(107) 特許請求の範囲第103項において、それぞれの前記ラマン増幅器レーザダイオードが約 7×10^7 Hzを超える速度で変調されるようになつている、光ファイバ通信装置。

(108) 特許請求の範囲第103項において、それぞれの前記ラマン増幅器レーザダイオードが信号変調速度の10ないし100倍の速度で変調されるようになつている、光ファイバ通信装置。

(109) 光ファイバ通信装置であつて、該通信装置が、多チャネル信号発生装置と、該信号発生装置に結合せしめられた単一モードファイバ伝送線路と、該伝送線路に沿って配置された1つまたはそれ以上のラマン増幅装置と、を備えており、前記信号発生装置が、フアブリ・ペロー変調器に結合せしめられたレーザダイオードと、不必要な共振次数の抑制装置と、を備えており、該抑制装置が、該信号発生器の該レーザダイオードに結合せしめられた第2フアブリ・ペロー装置を有している、光ファイバ通信装置。

(110) 特許請求の範囲第109項において、前記ラ

ブリ・ペロー装置が該第1フアブリ・ペロー装置の共振構造よりも広い共振構造を有していることによつて双方のフアブリ・ペロー装置に共通なただ1つの次数の波長に関してのみ前記発生器の共振が行なわれるようになつている、光ファイバ通信装置。

(114) 特許請求の範囲第113項において、前記第1フアブリ・ペロー装置が2つの所望の波長を有する出力を発生するための装置を含んでおり、前記第2フアブリ・ペロー装置が双方の該波長を共通の共振線の幅内に存在せしめるようなフィネスを有している、光ファイバ通信装置。

(115) 特許請求の範囲第114項において、前記ラマン増幅装置が、ポンプビームを発生する装置と、該ポンプビームと信号ビームとを共通経路に沿って組合せる装置と、を備えている光ファイバ通信装置。

(116) 特許請求の範囲第115項において、前記ポンプビームと信号ビームとを組合せる前記装置が前記伝送線路の1部分を含んでいる、光ファイバ

通信装置。

- (117) 特許請求の範囲第115項において、前記ポンプビームと前記信号ビームとを組合せる前記装置が該ポンプビームを前記伝送線路に横方向結合せしめる装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。
- (118) 光ファイバ通信装置であつて、該通信装置が、多チャネル信号発生装置と、該信号発生装置に結合せしめられた単一モード光ファイバ伝送線路と、該伝送線路に沿つて配置された1つまたはそれ以上のラマン増幅装置と、を備えており、前記信号発生器が第1および第2のフアブリ・ペロー変調装置に結合せしめられたレーザダイオードを有し、かつ振幅変調パルス発生器であり、該第2フアブリ・ペロー装置が該第1フアブリ・ペロー装置の共振線構造よりも広い共振線構造を有していることによつて双方のフアブリ・ペロー装置に共通なただ1つの次数の波長のみが共振可能であるようになつており、該第1フアブリ・ペロー装置が2つの所望の波長を有する出力を発生するための装置を含んでおり、該第2フアブリ・ペロー装置が

双方の該波長を共通の共振線の幅内に存在せしめるようなフィネスを有しており、第3フアブリ・ペロー装置が該第1フアブリ・ペロー装置に結合せしめられていることによつて該2つの所望波長の一方をフィルタ消去するようになつている、光ファイバ通信装置。

- (119) 特許請求の範囲第118項において、前記ラマン増幅器が、ポンプビームを発生する装置と、該ポンプビームと信号ビームとを共通線路に沿つて組合せる装置と、を備えている光ファイバ通信装置。

- (120) 特許請求の範囲第119項において、前記ポンプビームと信号ビームとを組合せる前記装置が前記伝送線路の1部分を含んでいる、光ファイバ通信装置。

- (121) 特許請求の範囲第119項において、前記ポンプビームと前記信号ビームとを組合せる前記装置が該ポンプビームを前記伝送線路に横方向結合せしめる装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

- (122) 光ファイバ通信装置であつて、該通信装置が

多チャネル信号発生装置と、該信号発生装置に結合せしめられた単一モードファイバ伝送線路と、該伝送線路に沿つて配置された1つまたはそれ以上のラマン増幅装置と、を備えており、該ラマン増幅器がレーザダイオードを含んでおり、該信号発生器が2重線発生装置と該2重線発生装置のための変調装置とを含んでおり、該2重線発生装置がフアブリ・ペロー装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

- (123) 特許請求の範囲第122項において、前記2重線発生器が前記レーザダイオードを所望の波長偏移の $1/2$ に等しい波長で変調する装置を備えており、前記フアブリ・ペロー装置が分裂共振特性を有している、光ファイバ通信装置。
- (124) 特許請求の範囲第122項において、前記フアブリ・ペロー装置が非分裂共振を有し、前記2重線発生器が前記フアブリ・ペロー装置を必要な波長偏移の $1/2$ に等しい周波数の正弦波で変調する装置を備えている、光ファイバ通信装置。
- (125) 特許請求の範囲第122項において、前記変

調装置が圧電結晶を含んでいる、光ファイバ通信装置。

- (126) 特許請求の範囲第122項において、前記ラマン増幅装置が、ポンプビームを発生する装置と、該ポンプビームと信号ビームとを共通線路に沿つて組合せる装置と、を備えている光ファイバ通信装置。

- (127) 特許請求の範囲第126項において、前記ポンプビームと信号ビームとを組合せる前記装置が前記伝送線路の1部分を含んでいる、光ファイバ通信装置。

- (128) 特許請求の範囲第126項において、前記ポンプビームと前記信号ビームとを組合せる前記装置が該ポンプビームを前記伝送線路に横方向結合せしめる装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

- (129) 光ファイバ通信装置であつて、該通信装置が、多チャネル信号発生装置と、該信号発生装置に結合せしめられた単一モードファイバ伝送線路と、該伝送線路に沿つて配置された1つまたはそれ以上のラマン増幅器と、を備えており、前記信号発

生器がフアブリ・ペロー変調器に結合せしめられたレーザダイオードと、単一モード変調器を有する不必要な共振次数の抑制装置と、を含んでいる、光ファイバ通信装置。

(130) 特許請求の範囲第129項において、前記単一モード変調器がフアブリ・ペロー装置によつて構成され、該フアブリ・ペロー装置が、単一モード光ファイバコアと、該コアの周の回りに部分的にのみ接合せしめられたクラッドであつて該コアの一部と該クラッドとの間に空層を形成するようにされた該クラッドと、該クラッドに取付けられた圧電結晶と、を備えている、光ファイバ通信装置。

(131) 特許請求の範囲第129項において、前記ラマン増幅装置が、ポンプビームを発生する装置と、該ポンプビームと信号ビームとを共通経路に沿つて組合せる装置と、を備えている光ファイバ通信装置。

(132) 特許請求の範囲第131項において、前記ポンプビームと信号ビームとを組合せる前記装置が

前記伝送経路の1部分を含んでいる、光ファイバ通信装置。

(133) 特許請求の範囲第131項において、前記ポンプビームと前記信号ビームとを組合せる前記装置が該ポンプビームを前記伝送経路に後方向結合せしめる装置を含んでいる、光ファイバ通信装置。

3. 発明の詳細な説明

発明の背景

発明の分野

本発明は、一般的には通信分野に関し、殊に多重情報チャネルが単一モード光ファイバによつて伝送される光ファイバ通信装置に関する。

従来技術の説明

光ファイバ技術の進歩に伴い、極めて高速度で情報を伝送する能力を有する光ファイバを製造することが可能であることが一般に認識され評価されるようになってきた。しかし、光ファイバ装置において可能な最大情報伝送速度を利用するためには、データを時分割多重化するか、または波長の異なる多重情報チャネルが共通の通信路を共有

するようにしなければならない。時分割多重化に関していえば、単一モード光ファイバの情報取扱速度(すなわち、 5×10^9 pps)に近いパルス繰返数でスイッチングを行ないうる電子回路はもちろん存在しない。さらに、後者の波長分割多重化法についてはこれまで明らかにあまり進歩がなかつた。そのわけは、光ファイバ装置におけるその諸問題の実際の解決法が一般に知られていなかったからである。これらの問題とは、一般に、低コストの、スペクトル的に狭い、安定した源を得ることの困難さ；特に単一モードファイバにおいてファイバを互いに接合させること、また源からのエネルギーをファイバに結合させることの困難さ；信号を増幅することの困難さ；選択的に信号をファイバに加え、またファイバから取出すことの困難さ；に関連するものである。

スペクトル的に狭い、安定した源に関しては、好適な源であるソリッドステート・レーザダイオードは高価である。従つて、これを光ファイバ通信装置に利用することは、高ビット速度が得られ

る場合に限つて経済的に正当化される。例えば、発光ダイオードとグレーテッドインデックス形光ファイバとが20キロメートル(Km)の距離によつて 5×10^7 パルス毎秒(pps)を伝送することができ、レーザダイオードと単一モード光ファイバとが同じ長さの光ファイバにより 5×10^9 パルス毎秒を伝送することができるものとする、後者のレーザダイオードと単一モードファイバとの組合せは、前者の組合せよりも100倍大きいコスト因子を有することになる。そのわけは、満足できる使用寿命をもつたレーザダイオードは、現在発光ダイオードの100倍以上高価なものとなるからである。

しかし、結合の分野において最近ある発展が行なわれた。例えば、米国特許第3,432,499号には、単一モード光ファイバ内へ諸信号を波長多重化するための構造が開示されている。米国特許第4,315,666号の発明などの諸発明によれば、1つの単一モード光ファイバによつて多数の波長チャネルを伝送し、また通信経路上の任意の点に

においてこれらの波長別チャネルの仕様のものを、他チャネルに対する妨害が極めて小さいようにし、かつ通信線路の完全性を保ちつつ、導入または抽出することができる。従つて、任意の1チャネルに対し極端に高い変調速度を用いなくても、極めて累積度すなわち集合度の高い情報流を伝送しうる光ファイバ通信装置を構成することにより、大きいチャネル容量を達成することができる。

公知のように、波長別の変調チャネルを利用した実質的な光ファイバ通信装置は、かなりの距離を経て情報を伝送しなければならない。これもまた公知のように、光ファイバの減衰特性の低減には顕著な進歩があつたものの、それにも拘らず吸収および散乱の累積および合成效果により、光ファイバを経て伝送される信号は減衰する。現存の光ファイバにおける減衰率は極めて低い、伝送距離の増大に伴つて信号は小さくなつて行くので、信号の周期的な復元すなわち増幅が必要になる。従来の古典的な通信装置においては、通信線路内にインラインレピータを挿入して周期的信号増幅

を行なつていたので、線路の完全性が中断されることになつた。古典的レピータは、減衰した信号を受ける入力ポートと、増幅器その他の信号処理装置と、下流側の通信線路に結合せしめられて、それへ復元された信号を供給する出力ポートとを含んでいる。これらの装置においては、放散した信号がまず光電装置に加えられ、その光電装置は光信号を対応する電気信号に変換する。次に、電子増幅器または信号処理装置が、その信号を増幅し調整して信号の劣化を補償する。その後、その電気信号はもう1つの光電装置へ供給され、その出力である光信号が下流側の光ファイバへ伝えられる。光信号の電気信号への変換、およびその光信号への再変換は、それらを行なわなければ完全である光装置に対して、ある人工的制限を課することになる。さらに、レピータの故障は線路の完全性を失わせるので、古典的なインラインレピータを用いる方法は、1つのレピータが故障しても、それによつて望ましくないほど大きい全装置的な影響を生じる。

上述のこと以外に、さらに多数の波長別チャネルを伝送する光ファイバ通信装置に用いられるレピータの製造は極めて複雑で経費のかさむものになる。そのわけは、それぞれのチャネルを別々に線路から取出し、別々に処理して再増幅と調整とを行ない、他信号と多重化して次の下流側の光ファイバ区分へ供給しなくてはならないからである。

純粋な光増幅に關しては、誘導ラマン散乱 (stimulated Raman scattering) を利用して1つの波長の光を他の波長をもつた増幅出力に変換する装置が知られているが、これまで情報保持信号、特に多重化された信号を増幅するために、ラマン散乱を利用することが提案されたことはなかつた。

発明の目的

本発明は、高いデータ速度で情報を伝送しうる、簡単に信頼性に富み、かつ比較的経済的な光ファイバ通信装置を提供することを一般的な目的とする。

本発明のもう1つの目的は、伝送される信号が電子技術によつてではなく純粋に光学的機構によつて増幅される光ファイバ通信装置であつて、複数の情報を伝送する波長別チャネルを用い、波長変調によつて情報を伝送しうる該光ファイバ通信装置を提供することである。

もう1つの目的は、光ファイバ伝送線路によつて伝送される路信号を、その線路を中断することなく集团的に増幅できる装置を提供することである。

さらにもう1つの目的は、いくつかのチャネルを伝送する光ファイバ伝送線路に沿つて配置される予備的意味をもつた過剰な増幅装置を提供することである。

さらにもう1つの目的は、自動的に増幅器の電力レベルを制御する装置を含む光ファイバ通信装置を提供することである。

さらにもう1つの目的は、変調可能であり、スペクトル的に狭く、経済的で安定な、光信号発生器を提供することである。

本発明のその他の諸目的は、一部は自明のものであり、一部は以下において明らかにされる。以上の諸目的に対応して、本発明の装置は、以下の詳細な開示において例示されるような構造、諸要素の組合せ、諸部品の配置を有する。

発明の要約

上述の諸目的およびその他の諸目的に対応して本発明が提供する光ファイバ通信装置は、該装置を固定するように結合せしめられた1つまたはそれ以上の光ファイバ線路と、光ファイバ伝送線路に結合せしめられ該伝送線路内へ情報保持信号を導入するようになっている装置と、光ファイバ伝送線路に結合せしめられ光学的手段によつて情報信号を増幅するようになっている装置と、を含んでいる。

前記信号導入装置は、好ましくは、変調された波長別信号を発生する信号発生器であつて、フアブリ・ペロー干渉計に選択された長さの結合用光ファイバを経て結合せしめられ、安定した信号源をなすように同調可能である付勢自在利得媒体を含んだ前記信号発生器の形式を有する。

本発明の前記光信号増幅装置は、ラマンポンピング・ビームを光ファイバ伝送線路に導入して、情報保持光信号のエネルギーレベルを増大させる装置の形式を有する。

本発明の光ファイバ通信装置においては、情報保持信号が純光学的装置によつて容易に増幅されて減衰の悪影響が補償され、それによつて伝送線路の完全性は損われない。さらに、光ファイバを経て複数の波長別情報保持チャネルを送信し、またこれら複数の波長別情報保持チャネルを光増幅装置によつて一様に増幅することができる、波長変調装置が備えられている。

本発明の本質と考えられる新しい諸特徴は、特許請求の範囲に詳細に記載されている。しかし、本発明の装置の構成および動作方法、ならびに他の諸目的および諸利点については、添付図面を参照しつつ行なわれる実施例に関する以下の説明において明らかにされる。添付図面においては、相異なる図においても同一部品は同一番号によつて指示されている。

詳細な説明

第1図には、本発明の通信装置の全体が、参照番号100によつて示されている。第1図に示されているように、通信装置100は、節点 N_1 、

N_2 、 \dots N_n において相互接続された複数の光ファイバセグメント S_1 、 S_2 、 \dots 、 S_{n-1} 、 S_n を含んでいる。通信装置の位相幾何学的構造によつて、節点 N は簡単な2ファイバ形の光結合すなわち接続を形成するか、または第1図の節点 N_2 および N_3 に図示されているような、もつと複雑な多ファイバ分岐形結合を形成する。ファイバ間結合は、好ましくは米国特許第4,315,666号に従つて構成される。結合せしめられた光ファイバ S_1 、 S_2 、 \dots 、 S_{n-1} 、 S_n は、第1図に示されているように、遠隔通信に適した閉ループ装置形の通信装置すなわち信号伝送装置をなす。容易にわかるように、通信装置100は、制御装置およびデータ処理回路網において通常そうであるように閉ループ形にすることもできる。情報保持光信号は、後に詳述されるように信号発生器50によつて選択された点において伝送線路内へ導入され、通信装置を経て、伝送回線の出力ポートに結合せしめられたデータ受信装置DRなどの1つまたはそれ以上の利用装置へ伝達される。情報保持光信号は、

パルス位置変調、パルス幅変調、等のような通常のパルス符号変調形式、ならびに後に詳述される好適な変調された多重波長別チャネル形式を含むいくつかの形式のうちの1形式をとりうる。

本発明においては、信号の増幅すなわち再生は、情報保持光信号の周波数より高い周波数でポンプビームまたはポンプビーム群を伝送線路内へ注入して、周波数の低い情報保持信号のラマン増幅を行なう、1つまたはそれ以上のラマン効果増幅器を利用して行なわれる。第1図には、ラマン増幅器 RA_1 、 RA_2 、 RA_3 と、ラマン増幅器 RA' との、2種類のラマン増幅器の実施例が示されているが、これらの両実施例については詳細に後述される。ラマン増幅器は、ラマン増幅器 RA_1 、 RA_2 、および RA' の場合のように主たる幹線に沿って配置してもよく、ラマン増幅器 RA_3 の場合のように分岐線路に沿って配置してもよい。レピータの挿入によつて伝送線路の完全性が損われる古典的なインラインレピータ法の場合とは異なつて、ラマンポンプビームは光ファイバの連続部分に導入される

のでファイバの物理的完全性は保持される。

本発明の通信装置100においては、誘導ラマン効果を用いて、情報保持光信号が増幅すなわち再生される。後に詳述されるように、光信号増幅を用いれば、従来行なわれていたように光信号を電気信号に変換し、次にそれを電子的に処理し、その電気信号を光信号に再変換するために伝送線路の物理的完全性を中断する必要なしに、情報保持信号を純光学的技術によつて集団的に一様に増幅することができる。

自然ラマン効果は一般に、媒体が準単色性の光によつて照射された場合に起こる散乱現象に関連している。散乱光は主として単色照射の周波数を有するが、そのほかに、元の照射ビーム中に存在したもののよりも低周波の長い波長が媒体から再放射され、その再放射は照射された媒体の関数になつてゐる。誘導ラマン散乱においては、2つの単色光子源からの光子が媒体に入射せしめられ、一方の光子源はポンプに相当して 散乱周波数 ν_s を有する低周波数の他方よりも高い周波数 ν_p を

有する。この条件下においては、低周波数 ν_s の光子源が増幅される。この増幅は、吸収および表面反射を無視すると次の式によつて与えられる。

$$P_s(L) = P_s(0) \exp [g(\Delta\nu) P_p L/a]$$

ただし、ここに $\Delta\nu = \nu_p - \nu_s > 0$ 、 P_p/a はポンプ強度、 L は媒体の長さ、である。項 $g(\Delta\nu)$ は利得係数と呼ばれ、媒体のラマン断面積に関係しており、ラマン相互作用の強さを表わす。

本発明の増幅器は、誘導ラマン散乱効果を利用すれば、ポンプ源光子と信号とが利得媒体内を同一方向に進む場合、波長別チャネルによつて搬送される一連の信号が集団的に光増幅されることに基づくものである。増幅が行なわれる理由は、高周波、短波長のビームの光子が、低周波、長波長の光子に変換されるからである。可能な利得は、上述の利得係数 $g(\Delta\nu)$ によつて与えられ、第2図にはドーピングされた融解シリカにおける利得係数が正規化されて図示されている。第2図においては、ポンプ周波数 ν_p は縦軸に一致しており、横軸に沿つて測つた $\Delta\nu$ は、通常の低周波の散乱

周波数ではなく、ポンプ周波数 ν_p と任意の搬送信号周波数 ν_s との間の周波数差を波数差で表わしている。

融解ゲルマニア (fused germania) のラマン利得係数のグラフは、第2図に示されているドーピングされた融解シリカのものとは形状は類似しているが、いくぶん大きい。シリカもゲルマニアも共に、本発明の通信装置に用いられる光ファイバのための好適な材料である。また、第2図に示されているラマン利得係数のスペクトル範囲が比較的広いことにも注意すべきである。このようにして、選択された周波数を有する一定のポンプビームすなわち増幅ビームを用いて、ある範囲の低周波、長波長の情報保持周波数に対し、さまざまなレベルでエネルギーを与える、すなわちそれらを増幅することができる。

光ビームは、上述のラマン増幅効果を受けるほかに、ブリルアン後方散乱をも受け、それによつて1次波よりもやや低周波ではあるが、ラマン散乱波よりは高周波の波が生じて、1次波から後方

へ伝搬する。ドーパされた融解シリカのプリルアン後方散乱利得係数は、第2図に極めて誇張されて示されている(破線で図示)が、そのわけはその帯域幅が1.0オングストロームより小さいからである。第2図に示されているように、プリルアン利得係数は1次ビームよりもやや低い周波数を有し、周波数的には1次ビームからわずかの間隔しかもつておらず、ラマン散乱利得係数よりも比較的大きい増幅をもっている。

第1図に全体的に示され、さらに第3図に詳細に示されているように、本発明のラマン増幅器は、好ましくは、後述のように別々の波長出力を有するレーザダイオードの形式の、複数の個々のラマン増幅器光発生装置すなわちポンプ源10を含む。それぞれの光発生器10は、好ましくは光ファイバ間の波長選択同調結合に関する前述の米国特許第4,342,499号に開示されている横方向結合技術により主タップ14に接続された、それぞれのカップラ線路セグメント13によつて結合せしめられている。主タップ14は、同

様にして主幹線12、すなわちファイバS₁に横方向結合によつて結合せしめられている。その他のラマン増幅器RA_nは、信号レベルの維持に必要なだけ、伝送線路に沿つて反復配置される。カップラ線路セグメント13とタップ14との間の結合は、前述の特許および特許出願に説明されているように波長選択的なものであるから、第1ラマン発生器10からのポンプ信号が1つまたはそれ以上の他のラマン発生器10へ結合されることはなく、結局、1つの光発生器10から発生したポンプエネルギーが、他の光発生器10内へ反射されて、すなわち帰つてきて、入ることは阻止される。

1つより多くのラマン光発生器10を使用すると、諸発生器10の間の波長の分離度によつて、信号の実質的付加増幅のみを行いうる、または付加増幅とチャネル帯域幅の増大とを行ないうる、装置が構成される。発生器10の間の出力スペクトルが接近しているほど、純粋の付加的信号増幅のみが行なわれ、出力スペクトルが離れているほど、チャネル帯域幅の拡大と増幅とが行なわれる

傾向になる。このことは、それぞれのポンプ周波数 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ の寄与を表わす利得曲線を加算して得られる、累積利得を表わす正規化合成利得曲線を示した第4図を参照すればよくわかる。容易にわかるように、発生器の波長の間の分離が大き過ぎると、増幅は一樣に行なわれなくなる。従つて、チャネル増幅度が可能なピーク利得の25%より低くならないように、光発生源10間の波長間隔はある程度小さくとられる。すなわち、選択された全てのチャネルが合成利得曲線の領域(A)の範囲内に入るような、広くて平坦な合成利得曲線を得ることが望まれるのである。

ラマンポンプビームの発生源としては、多重ソリッドステート・レーザダイオード10が好適であるが、同様のスペクトル^{の組}線を与える、別の実施例のラマン増幅器RA'に用いられているような、後に詳述される他の発生源もまた適している。他の発生源としては、YAGレーザによつて付勢される多価ラマン発振器などがある。

限られた数の光子の、どのような増幅において

もそうであるが、レーザ増幅も雑音を伴うものであることは公知である。光ファイバ伝送装置において光増幅が繰返されると、雑音が蓄積される。例えば、もし1パルス内にN個の光子が存在し、このパルスが利得因子Gだけ増幅されると、GNを中心とするある確率分布をもつた数の光子が発生せしめられる。これによつて増幅されたビームがファイバ内を伝搬して行くのに伴い、この分布曲線はさらに広がって行く。信号増幅とその後の伝送とが加わる毎に、分布曲線は広がるのである。本発明においては、信頼性のある情報伝送を行なうために必要とされるよりも高い信号レベルの使用、低い信号変調速度の使用、および後に詳述される種類の狭いスペクトルの信号源の使用、を含むいくつかの方法により、相次ぐ信号増幅および再伝送から起こる雑音の蓄積効果が軽減される。本発明の実施例においては、信号増幅器RAは好ましくは信号レベルが

$$N = 100R$$

となる点まで低下した場所に配設される。ただし、

ここに N は 1 パルスあたりの光子数であり、 R は信号処理装置間に直列に入っているラマン増幅器 RA の数である。もし、信号処理装置がない場合は、 R は、信号源と信号検出器または他の信号利用装置との間のラマン増幅器 RA の数である。この判断基準は絶対的なものではなく、以下の判断基準によるある融通性が許容される。もし、いくつかの増幅器 RA が存在して、それらの増幅器間の距離が長くなったり、短くなったり変動する場合は、上述の判断基準は平均を基礎とすることができる。統計的分布曲線の広がり方は非直線的であり、その広がり方は平均値が示すものより悪い。さらに、判断基準は線路に沿つての信号トラヒックに依存し、その関数となる。コンピュータデータの誤り率は、ビデオデータよりも遥かに小さくなくてはならない。もし、通信装置が主としてデータ伝送に用いられる場合には、許容されるビデオデータの誤り率を調節した後、ビデオ速度より低い速度でデータを伝送することによつて誤りの発生を減少せしめうることを、適当な設計の判断

めに実質的な努力がなされてきた。さらに、分散領域を長波長、低周波の領域へ偏移させることによつて、好適波長における減衰を小さくする試みもなされてきた。

本発明においては、それぞれのチャネルの波長の広がりを狭くすることによつて分散問題は殆ど完全に解決される。このようにして、情報保持信号は、任意の所望領域内において、その領域内における分散が小さいか否かに拘らず、伝送されうることになる。さらに、少数の信号チャネルを極めて高い変調速度で使用するのとは反対に、多数の間隔の狭い信号搬送チャネルを低変調速度で使用するによつて、利点が得られる。比較的低い変調速度で変調された信号においては、極めて高い変調速度を用いた場合の小さいパルス幅とは反対に、それぞれのパルスが長い持続時間すなわちパルス幅を有するため、該信号は分散劣化をあまり受けないのである。本発明においては、通常使用される最高の信号源によつて与えられる変調速度より高い変調速度は好ましくは用いないよう

基準となる。例えば、商業ビデオにおいては 10^8 ボーの速度が適当であり、スタジオ品質ビデオデータの供給には 5×10^8 ボーの速度が用いられる。これらのボー速度は現在コンピュータデータの伝送に用いられているデータ速度よりも大きい。

変調がパルス符号技術の 1 つによつて行なわれる場合のパルスの帯域幅が、適度のパルス波形を保存するのに要求される帯域幅を超えることは、群速度分散の観点から、また自然ラマン散乱から生じる余分な雑音を情報搬送信号チャネル内に導入することから、望ましくない。信号の波長成分の群速度分散は、信号チャネル内における波長の広がりに比例する。従つて、余分なスペクトル幅は、分散のために信号パルスを不必要に広げることになり、そのために信号処理すなわち信号調整なしに信号が伝送されうるファイバの長さが減少することになる。

従来においては、信号波形の分散および劣化を最小限にするために、零分散かつ／または広範囲にわたつて低分散を示すファイバを発展させるた

にする。すなわち、パルス変調された色ビデオは、 10^8 パルス毎秒程度で変調される。

自然ラマン散乱からの信号チャネル内への余分な雑音の導入に関しては、ファイバのそれぞれの可能な電磁状態内へのポンプビームの自然ラマン散乱は、単位時間あたりの光子数 S によつて表わされる。 N を既にその状態にある光子数とすれば、誘導散乱の速度は SN になる。パルス変調された信号の伝送という観点からは、パルス幅に等しい任意の一定時間内には、パルスが存在しているか、またはいない場合がある。もしパルスがなければ、パルスのない時間間隔に対応するそれぞれの可能なファイバの電磁状態内へ S 個の光子が散乱される。一方、同じ持続時間のパルス幅内へは、もしそのパルス内に N 個の光子が存在していれば、 SN 個の光子が誘導される。パルス間隔から得られる増幅された信号は、この場合

$$N_{out} = (N_{in} + n) \theta - n$$

になる。ここに、 θ は利得であり、 n はパルス内の可能な電磁状態の数である。また、 N_{in} は増幅

領域へ入る際のパルス間隔内にある光子数であり、 N_{out} はその領域から出る際のパルス間隔内にある光子数である。利得が $g=1$ （増幅なし）の場合には、それぞれの間隔内の光子数は不変である。一方、利得 g が比較的に大きい場合は、パルスのない間隔は、その時間間隔内の電磁状態の数を n とすると、あたかも n 個の光子を含んでいるかのように作用する。パルス間隔内の電磁状態数 n は、帯域幅のパルス繰返数に対する比に比例するので、必要以上に大きくない帯域幅を用いれば、パルス波形は適度に維持され、信頼性のある情報伝送が行なわれることになる。

容易にわかるように、多数のラマン信号増幅器RAが直列をなして存在し、それぞれの増幅器がそれぞれのパルスのない領域に n 個の光子を与える場合には、パルス間隔と無パルス間隔との間の存在光子数比は急速に劣化し、それによつてパルスの識別は次第に困難になる。従つて、所望の波形忠実度に適合する最小の帯域幅を使用することが望ましい。さらに、直列をなすラマン増幅器

RAの繰返数を R とし、パルス間隔の幅毎の状態数を再び n で表わすとき、信号処理を行なう前の信号レベルは、1パルス内の光子数が $20 \times Rn$ となるレベルより低下することは許されない。これらの判断基準は、多数のラマン増幅器を用いる状況下におけるSN比レベルを適当な状態に保つためのものである。

さらに、パルス繰返数（PRR）の1ないし2倍の帯域幅ならば適当であることがわかつている。帯域幅が2倍である場合は、光子数に対する判断基準は前述の $N=100R$ よりもゆるやかになる。帯域幅がパルス繰返数の5倍である場合には、判断基準は同じになる。従つて、帯域幅がパルス繰返数の5倍を超えて広げられると、電力レベルを増大させる必要を生じる。

分散および増幅器雑音の双方とも、それぞれのチャネルの帯域幅を制限することによつて所望通りに制御できる。帯域幅を制限すれば、任意の一定スペクトル領域内のチャネル数を増加させ、それによつて一定数のチャネルにおける諸チャネル

をラマン利得曲線のより狭い範囲内に収めることもできる。信号搬送チャネルの選択された組を、第4図のラマン利得係数曲線の領域「A」のような狭い領域内へ圧縮すなわち集合化すれば、これらのチャネルの組を通じてほぼ平坦な利得を実現することが容易になり、また、短波長、高周波のチャネルから長波長、低周波のチャネルへのエネルギーの移動が所望されるように少なくなる。これに関連して、データ受信装置においてチャネルの識別を効果的に行ないうけるために、チャネル間の間隔は、変調速度より小であつてはならず、かつ、変調速度の3倍より大であつてはならない。

第2図のラマン利得曲線を参照すれば、チャネルの圧縮すなわち集合化の望ましい特徴がわかる。図示されているように、ラマン増幅器の利得スペクトル上における利得は、ポンプビームと信号搬送チャネルとの間の波数差とともに一様でない変化をする。チャネルの広がり方が比較的に大きい場合は、諸チャネルに与えられるそれぞれの利得は等しくならず、あるチャネルは他のチャネルよりも大きく増幅されることになる。この等しくない増幅すなわち利得の効果には、それぞれの追加のラマン増幅が乗算される。チャネル帯域幅を狭く集合化すなわち圧縮すると、チャネルスペクトルおよびスペクトル位置は、第4図の利得領域「A」のように諸チャネルを通じて平坦な利得を与えるようになつているラマン利得係数の部分に集められる。

ラマン増幅器のポンプビームの導入に伴う1つの効果は、ラマン増幅器のポンプビームからエネルギーを受けてブリルアン後方散乱が発生することである。融解シリカにおいては、ブリルアン散乱

の利得スペクトルの大きさは、ラマン散乱利得スペクトルより遙かに大きいので、ラマン増幅器のポンプビームエネルギーが所望の増幅された信号に変換されることなく、波長のわずかに偏移した後方への進行波に変換される傾向が生じる。この自然ブリルアン散乱によつて発生した波が、ラマン増幅器のポンプビームと反対の方向に進むとき、自然波はさらにブリルアン散乱を誘導して増幅される。もしラマン増幅器のポンプビームのスペクトル線幅がブリルアン散乱の線幅より小さければ、この増幅率はラマン増幅の増幅率の100倍程度の大きさになる。従つて、後方へのブリルアンビームが全信号電力の $1/100$ に達すると、ラマンポンプビーム電力の $1/2$ が望ましくない後方進行波に変換されるようになり、その後は極めて急速に、ポンプ電力の殆ど全てが望ましくない波に変換されることになる。

ブリルアン後方散乱は、ポンプ電力の損失の原因になるだけでなく、それは増幅を変動させる原因にもなる。詳述すると、ラマン増幅器のポンプ

ビームがターンオンされた時、その立上り区間は自然後方散乱を発生し、それはラマンポンプビームの後続部分によつて果敢的に増幅される。ブリルアン散乱によつて生じた波がさらにファイバ内を進行して行くとき、ちょうどファイバに入つて来た部分はその後方進行波によつて次第に大きく「逆増幅」される。ファイバ内を十分に透過した後は、ちょうど入つて来た波の部分は、後方進行波に完全に変換される。その後は、ポンプ波の強度は振動することになる。もちろん、これによつて所望信号のラマン増幅は変動することになり、増幅の非効率の問題よりも大きい重大問題が発生する。

上述の、ラマン増幅器のポンプ波の動的過程および効率は、第3次の波の発生、すなわちブリルアン後方波からのブリルアン後方散乱の発生によつて、また、4光子混合過程から起こるスペクトル線の拡大によつて、さらに複雑化される。上述の、ラマン増幅器のポンプ電力のブリルアン後方波への変換、およびこの後方波から生じる時間的

変動を防止する、または最小化するためには、ポンプビームをスペクトル的に広げることが望ましい。ブリルアン利得はラマン利得よりも遙かに大きい、スペクトル的には極めて狭い(約 7×10^7 Hz)。しかし、第2図には極めて広くして示されている。従つて、ラマン増幅器のポンプ線が1つではなく2つ使用され、それらが 7×10^7 Hzより大きい間隔をもつていれば、それぞれのポンプビームは自身のブリルアン後方波とは相互作用するが、他のポンプビームの後方波とは遙かに小さい相互作用しかしない。しかも、ラマン利得は極めて広いので、双方のポンプ線は組合わされることによつて、一定の信号チャネルまたは信号チャネルの組をポンプするようになる。ラマンスペクトル線は2つ以上(所望されるラマン利得の1デシベル毎に、 7×10^7 Hzより大きい間隔をもたせて)用いることが望ましい。もし、ラマンポンプ線が上述の 7×10^7 Hzより広がれば、この規則はそれに対応して緩和される。

ここに述べる実施例においては、ラマン増幅器

のポンプ源としてソリッドステート・レーザダイオードが用いられる。レーザダイオードのスペクトル線幅は通常 10^7 Hzよりずっと大きいものとされているが、必ずしもそうではない。もし、そのようなダイオードが連続電力モードで(変調されずに)使用される場合は、全電力は最終的には1スペクトル線内に入ることになり(特に、レーザダイオードがそれを行なうように設計されている場合は)、その線はスペクトル的に極めて狭くなる。正確な波長は時間的にいくぶん変動するが、これによる周波数変動が連続的かつ高速度で起こらない限り、この周波数変動はブリルアン後方波の影響を防止または打消するためには役立たず、畢竟そのように起こらない。従つて、本発明においては、いくつかのスペクトル線が供給される。多数のダイオードを用いると、信頼性も増大する。もし、1つのダイオードが故障しても、信号搬送チャネルに与えられる全体的利得はわずかに低下しないのである。

多数のレーザダイオードの使用により、従来利

用されていた古典的レピータの場合にはなかつた、故障時にも動作するという特性が得られる。

複数のレーザダイオード陣を使用して複数のスペクトル線を供給するほかに、ダイオードに入力される電力を変調することによつてソリッドステートレーザの出力スペクトルを信頼性をもつて慎重に広げ、それによつて複数のスペクトル線を発生させることもできる。例えば、変調速度が 5×10^7 Hz より大であれば、(変調された信号線のフーリエ変換から)少なくとも2つの狭いスペクトル線が発生せしめられる。電力入力を信号変調周波数の5倍より小さな任意の周波数で変調すると、信号チャネルに利得のリップルを与え、それが信号の識別および解釈を妨害するようになる。プリルアン後方波を防止するのに通する1レーザダイオードあたりの電力より多くの電力が用いられ、変調によるスペクトル線の分裂または拡大が用いられる場合には、その変調速度は少なくとも信号変調速度の10倍でなければならない。さらに、ラマンビームを、信号の群速度と異なる群速度で

進行させることにより、ラマンビーム内の任意のパターンによつて信号チャネルを掃引し、それによつてインプリント(imprinting)を減少させる装置を備える。

信号チャネルに過度にインプリントしないための最大リップル波長に対する判断基準は、まずラマン増幅が起こる伝送経路の長さを確定することによつて得られる。これはもちろん、線路損失その他の損失によつて変化する。損失が現実的な 0.25 dB/km であると仮定すると、その場合のラマンポンプ電力の低下因子は 10 km に対して 2 となる。もし、信号電力への転化によつてポンプ電力の低下がこれより速くなるならば、もつと短い長さを用いる。

安全なリップル波長の最大値を計算するためには、ポンプビームの群速度と、信号チャネルの群速度との差に増幅長を乗じ、それを該両群速度の平均値で除算したものが、ダイオードの変調速度に対応するリップル波長より大でなければならないとする。これは次の不等式によつて表わされる。

$$\text{リップル波長} \leq \frac{2L(V_p - V_s)}{V_s + V_p}$$

いくつかのラマンポンプ線を用いると、短波長のポンプ線が長波長のポンプ線をポンプする傾向を生じる。従つて、相次ぐそれぞれの低周波、長波長のダイオードの出力レベルは、信号チャネルに対する全体的に平坦な利得曲線を得るために下方へ調節、または補償されるべきである。

変調速度が 10^8 パルス毎秒である場合には、ポンプビーム内のスペクトル線間の間隔は少なくとも 10^9 sec⁻¹ であるべきである。同様に、2つのスペクトル線間に生じる任意のビートパターン(および複合ビートパターン)は、レーザダイオードの変調に対して上述された判断基準と同じ判断基準に従う波長をもつたリップルを発生すべきである。従つて、信号の帯域幅に比し波長的に広い間隔をもつたポンプビーム内のスペクトル線を作り出すための装置も備えられる。

上述のように、プリルアン後方散乱を最小にするには、ラマンポンプビーム内に複数、例えば

20の、スペクトル線を含ませることが望ましい。それぞれが1つのスペクトル線をもつた20の別別のレーザダイオードを用いるか、または、多重線を与えるように変調されたもつと少ない数のダイオードを用いるかは、得られる1ダイオードあたりの電力、予想される信頼性と寿命、および伝送線路に沿つて印加される信号数、による。最適な構造設計は、ダイオードのコストと動作特性とがさらに進捗すれば変化することになる。いずれにしても、信号の多重化、検出、および再生には1チャネルにつき1個のダイオードを必要とするので、波長チャネル数が1ラマン信号増幅器あたりのダイオード数を超える時は、前述のラマン形信号増幅器は経済性のみから正当化される。現段階の技術においては、ここに述べるラマン信号増幅器は、少なくとも20の波長別チャネルが存在するならば、成分コストの点のみから、その使用が正当化されるのである。さらに、信頼性の因子を考慮に入れても、ここに述べるラマン信号増幅器は、チャネル数が少ない場合には正当化される。

第1図に図述して説明したように、長い伝送線路に沿っていくつかのラマン信号増幅器を使用するのが、最も厳格で最も見事な結果を与える使用方法であるが、単一のラマン信号増幅器を使用しても、ある場合には利点がえられる。例えば、広汎な変調、スイッチング、および多重化を要する極めて短い通信装置においては、ここに述べた形式のラマン増幅は信号増幅を行なうのに使用される。またそれは、線路が短くても、信号を一回ポンプするのに有利である。

さらに、市内回路網、市内分配装置、または交換局においては、単に検出および識別の信頼性を高め、経済的で感度の低い検出器を使用しうるように、光子雑音を防止するために必要である以上のレベルまで信号を増幅すると有利である。

信号パルスの発生に関しては、パルス繰返数が低い場合には、通常のソリッドステートレーザダイオードで十分である。しかし、 10^8 パルス毎秒のパルスの発生には、通常のソリッドステートレーザは実用的ではない。そのわけは、出力が狭

いスペクトル幅のパルスではなくなるからである。レーザダイオードが電流パルスを受けた後発振を開始すると、それはまずいくつかの次数をもつ共振線を発生するが、ピークに最も近い次数のものの実質的利得が最大である。この中央次級のもの、ダイオードがそのように設計されていれば、側部次数のものからエネルギーを取出し、最終的には中央共振線は次第に狭くなるが、若干のドリフトを伴う。従つて、この形の出力は、ここで説明される種類の、狭い線を用い、高度に多重化が行なわれる装置には適さない。

上述のことにかんがみ、本発明の実施例であるパルス信号発生器80は、外部の干渉計形空胴すなわち共振空胴装置を有する、増幅器として動作する利得媒体を組み込んでおり、これが組合せ装置のスペクトル出力を正確に制御する。第5図に示されているように、公知の利得媒体18は、この利得媒体を付勢してその原子レベルにおける原子分布数の逆転を行なうための公知の装置を有しており、また反射端24を備え、光ファイバビグテ

ール22に結合せしめられていて、これに出力を供給する。光ファイバビグテール22は、フアプリーペロー共振装置20に横方向結合せしめられており、フアプリーペロー共振装置20はさらに幹線12に横方向結合せしめられている。第5図のパルス信号発生器80において、フアプリーペロー共振器20は、所定波長の光エネルギーを発振させ、それを利得媒体18を通して、組合せ装置がレーザ作用によつて所望波長の出力を発生するまで伝送する。パルス信号発生器80は始動が遅いので、高次の高繰返数パルスの発生または高速変調には適さない。しかし、パルス信号発生器80がいつたん発振すると、その波長出力はフアプリーペロー装置と同様に実質的に安定する。フアプリーペロー装置20は、この装置における「はすみ車」として作用する。従つて、利得媒体18からエネルギーが取出されても、パルス信号発生器80は、空胴の長さにそのフィネスを乗じたものに対応した追加時間の間エネルギーを発射し続ける。この外部同調形組合せ発振器は、このよう

にして狭いスペクトル線源として使用することができる。容易にわかるように、第5図の信号発生器80は、もしフアプリーペロー空胴20が前述のように高速同調可能なものであれば、狭スペクトル線変調源としても使用できる。

第5a図には、固定周波数の信号が存在する(すなわち、期間 ΔT_1 内)か、または存在しない(すなわち、期間 ΔT_2 内)ようにする、通常のパルス振幅変調方式が示されている。情報は、パルス符号変調方式において通常行なわれるように、期間 ΔT 内に信号が存在するか、しないかを検出することによつて受信される。第5b図には、本発明における波長偏移変調方式が示されているが、この図においては、実質的に一定振幅の信号が、期間 ΔT_3 内においては第1の所定波長 λ_0 を、期間 ΔT_4 内においては第2の選択波長 λ_1 を有するように変調されている。第5b図においては、波長 λ_1 は波長 λ_0 より長い。情報は、一定振幅の波形に対して波長偏移を施すことによつて与えられ、同様にして相次ぐ期間 ΔT 内における偏移を検出

することによつて復号される。

本発明においては、第5a図または第5b図の変調方式が使用できるが、第5b図に示されている波長偏移変調方式のような、信号振幅を一定にしようる変調方式の方が好ましい。そのわけは、そのような変調方式においては、1信号チャネルが他の信号チャネルを誘導ラマン散乱またはその他の非直線効果によつて増幅する直接漏話も、また1チャネルの信号が消耗することによつてラマンポンプビームにインプリントし、さらにポンプビームが他の信号チャネルにインプリントする間接漏話も、共に最小化されるからである。

上述の波長偏移変調においては、一定振幅の信号が発生せしめられるので、漏話によるチャネル間の変調は、波長によるラマン利得の変化に波長変化を乗じたものに比例するのみとなる。波長偏移は極めて小さいので、この効果は無視できる。波長偏移変調においてはまた、一定の変調速度で送信するのに必要とされるスペクトル幅が減少せしめられる。

増媒体18内の状態によらなくなる点にある。その理由は、共振フアブリ・ペロー空胴20のファイバー構成が熱的变化に影響されにくく、従つて通常の利得媒体およびこれに関連するエネルギーポンプ構造よりも容易に熱的影響を受けないようにできるからである。

公知のように、フアブリ・ペロー空胴は多くの共振次数を有するが、もし所望ならば、不必要な次数のものは装置自体の内部で抑制するか、または外部フィルタを用いて抑制することができる。フアブリ・ペロー空胴の不必要な共振次数が外部的に抑制される場合には、フアブリ・ペロー空胴内に存在する諸線は得られるダイオード出力を使用するので、所望の共振線の方に得られるエネルギーは減少し、そうでなければ一定エネルギーレベルのパルスであるはずのものの内にリブルを生ぜしめる。不必要な共振次数は、第5c図に示されている装置を用いて抑制できる。そこに示されているように、利得媒体18の左端の鏡24は、右側のものと同様のファイバビグテール22'とファイ

上述の波長偏移変調によつて使用される第5図の信号発生器においては、フアブリ・ペロー空胴20内に蓄えられた λ_0 のエネルギーは、直ちに λ_1 に偏移する。ここに、添字0は最初の状態を示し、添字1は最後の状態を示しており、光学的長さ $o/\lambda_0 = \text{光学的長さ } l/\lambda_1$ になつている。このようにして、フアブリ・ペロー空胴20は、エネルギーの放出および再補充を持つことなく直ちに变化した共振波長に同調することができ、波長偏移変調方式を用いて高い変調速度を達成することができる。組合せ装置によつて発生せしめられたエネルギーは、最初に偏移せしめられた波長が共振空胴20から帰つて利得媒体18に入ると直ちに波長を偏移せしめる。この変調応答の時間遅延は従つて、ほとんど全てが、共振空胴20の経路長を変化させるための機械的または物理的時間遅延である。

このエネルギー源の主たる利点は、共振空胴20が利得媒体18から分離されているために、波長出力が、出力の波長を不安定にする傾向がある利

パーフアブリ・ペロー空胴20'とによつて置き換えられている。左側のフアブリ・ペロー空胴20'は、共振線特性が右側の空胴20に対してパーニアとしての関係を有するように設計されているので、所望次数の共振のみが、右側におけるその次数の共振と一致する。容易にわかるように、第5c図に示されているような2重フアブリ・ペロー空胴20および20'は全体として、所望のスペクトル線において実質的なエネルギーレベルで共振する信号発生装置を構成する。第5c図に示されている装置において、左側のフアブリ・ペロー空胴20'は、同時に両装置を変調する必要がないように、波長変調による同調偏移を共振線の幅内にあるようにする低いフィネスをもたなくてはならない。

第5図および第5c図に示されているような、光ファイバビグテールによる、利得媒体とフアプリー・ペロー共振器との結合は、反射端をもったビグテールが変調されるレーザダイオードに結合せしめられる従来技術の装置とは実質的に異なる。後者の場合には、共振空胴は光ファイバビグテールとこれに結合したレーザダイオード空胴との双方から構成される。もし、ダイオード空胴上のビグテールの有効共振空胴長が、高Q空胴の $\frac{1}{2}$ 幅内の任意の波長の約 $\frac{1}{4}$ ラジアンより小さくなければ、装置は発振しない。レーザダイオードは、ある量のエネルギーをそのボデー内へ捨てるが、その量は、ダイオードがレーザ作用をしているか否かによる。また、ダイオードがレーザ作用を行なわなくなると、ダイオードは温度変化を受け、従って光路長が変化する。この偏移は、位相の損失量がレーザ作用を再開させるようになるまで、継続される性質を有する。この性質は、フアプリー・ペロー空胴20に対するビグテール長が増加するに伴って一層生じやすくなるので、この性質は

て増大すると、光ファイバ幹線への出力エネルギーは容易にわかる程度に低下する。過度に長いビグテールから起こる最終的結果は、2つの交番波長から成る一定レベルの出力ではなく、減衰する形式の出力を生じるようになることである。もちろん、一定振幅の信号が所望される場合にはこの状態は望ましくないもので、適当な長さを正しく考慮するか、または別種の信号発生器を用いることによつて回避される。

第5d図には、この効果を軽減するための信号発生器の別の適当な実施例が示されており、この実施例はやはり、利得媒体18と、端部鏡24と、好ましくは関連のフアプリー・ペロー空胴20の長さの10倍より小さい短い長さのビグテール22と、発振を起こすためにビグテール（または、もつと一般的な意味では、低Q空胴内のある要素）の光路長を変化せしめる光学的に駆動される掃選装置と、を含んでいる。これは、ビグテール22から、またはその代わりに低Q空胴のある部分から光の小部分をタツプファイバ23を用いて取出

本発明においては抑制されなくてはならない。過度に長いビグテールから生じる望ましくない結果は、すでにビグテール内において第1波長でダイオードの方向へ進行している波列が、1往復してフアプリー・ペロー空胴内へ帰るまで同じ波長を保持し続け、その後になつてから波長偏移が行なわれることである。従つて、上述の装置がスペクトル的に狭い変調器として用いられ、フアプリー・ペロー共振器が波長出力を変化させるためのパルスを受けると、それは最初そのエネルギーを出力幹線へ放出し始める。ビグテール／利得媒体内の往復時間に等しい期間の間、適正波長のエネルギーはフアプリー・ペロー空胴内へ補給されない。その期間が経過すると、初めて正しい、偏移された波長の光がフアプリー・ペロー共振器から出て利得媒体を通つて帰り、フアプリー・ペロー共振器のエネルギーレベルは再び補給を受け始める。

接続用の光ファイバビグテールが長くなると、エネルギー補給のないこの期間はもちろん長くなる。もし、エネルギー補給のない期間がある上限を超え

すことによつて行なわれる。例えば、フアプリー・ペロー空胴内の反射率は決して100%ではないので低Q空胴内の光の相当部分はビグテール22内にある。このエネルギーの全部、または一部が、光応答装置PDを作動させるために用いられ、光応答装置PDは、公知のように動作する論理回路LCを駆動するが、これについては後述する。

もし、ビグテール22からエネルギーが来ないか、または極めて低レベルのエネルギーしか来ない場合には、論理回路LCは制御信号「CTRL」を発生し、この信号が低Q空胴の光路長を変化（増加または減少）させる。それは、発振（すなわち、レーザ動作）が起こるまで、変化を1方向に緩やかに駆動し続ける。次に、掃選制御回路技術において公知のように、掃選出力信号「CTRL」がビグテール22から最大量のエネルギーが得られる向きに駆動を行なう。駆動速度の任意の変動（例えば乱調）は、複合2重空胴内に発振を確立するために必要な全体的時定数に対応したものとなる。例えば、もしフアプリー・ペロー共振空胴20が10⁸Hzの

半値幅を有する場合は、発振が確立されるための時間長は 10^{-8} 秒より大であり、かつ 10^{-7} 秒より小である。

第5d図に示されている帰還回路によつて、装置は利得媒体18の光路長に低速の変動があつても、適度によく同調された状態に留まる。信号そのものと混同される可能性のある、望ましくない振幅またはレベルの変動の印加を避けるためには、帰還ループの時定数を少なくとも装置のパルス繰返数の10倍から100倍の長さにして、帰還ループによつて与えられる振幅またはレベルの補正が多数のパルス上に広がる形で行なわれ、データ受信装置に対しての識別問題が起こらないようにしなければならない。2重空胴光回路の全体は、この回路を熱的および機械的な衝撃および変動から遮断して、スプリアス信号出力が形成されないようにして取付ける必要がある。もちろん、利得媒体18および帰還電子回路に対する電源も、雑音やトランジェントのないものであるべきである。

結合後くどのような結合装置が用いられたかに

よらず)、利得媒体18の2面間の反射を十分に減少させて、利得媒体18そのものの内部の往復路における損失が、組合わされて延長された空胴の事実上の端部間の往復路内における損失よりも大きくなるようにすべきである。これによつて、利得が発振を起こすまで増大せしめられた時、フアブリ・ペロー空胴20によつて制御される所望モードが、利得媒体18の不必要な内部発振へエネルギーを失わないようになる。

第5図、第5c図、および第5d図に関連して上述された装置によつて行なわれる波長偏移変調は、単に出力信号をして、2つの出力波長(すなわち、第5b図に関連して上述された λ_0 または λ_1)の一方に同調せしめられたもう1つのフアブリ・ペロー装置を通過せしめるだけで振幅変調信号に変換されうる。信号発生器の2つの出力波長の一方に同調せしめられた、このもう1つのフアブリ・ペロー装置の出力が、所望の振幅変調信号出力になるのである。このもう1つの同調フアブリ・ペロー装置の使用は、変調器のもつと古典

的なオン/オフ・キーイングよりは好ましい。そのわけは、オン/オフ・キーイングは、パルスの正確な制御を妨げ、高変調速度を人工的に制限し、データ受信装置内にパルス識別問題を発生させる、リンギングを起こす可能性があるからである。

前述のレーザダイオード/フアブリ・ペロー信号源はまた、変調器としてではなく、狭いスペクトル線の光源としても使用できる。しかし、変調を行ないたい時には、第6図に示されている、所望の波長偏移変調を行なうためのフアブリ・ペロー装置の好適な実施例がある。そこに示されているように、その変調器は上部および下部の延長支持部34aおよび34bを有する「C」字形断面をもつた取付具34を含んでいる。上部および下部の支持部34aおよび34bの間には、両面に電極28および30を有する圧電結晶26と、光ファイバ32とが取付けられている。電極28および30には電源が接続されていて、励振電圧によつて結晶26を通常のように駆動する。結晶は圧電効果によつて物理的にひずみ、従つて、前述

のフアブリ・ペロー共振器を構成するファイバ32に圧力を加えることになる。ファイバ32および結晶26の両者は、接合剤または他の手段によつて取付具34上に構造的にいつしよに固定されているので、振動する結晶26からの圧力は、よい信頼性で光ファイバ32へ伝達される。容易にわかるように、結晶26から加わる圧力によつてファイバ32の光路長、従つてフアブリ・ペロー空胴の共振特性は効果的に変化せしめられる。

一般に、光ファイバは2つの偏波モードを有し、加わつた圧力は1偏波モードの経路長を、他の偏波モードの経路長よりも大きく変化させる。従つて、前述のように変調されたフアブリ・ペロー共振器は、2つの偏波状態に起因する2組のスペクトル線を有することになる。第2の所望されない偏波状態は、以下に述べるように単一偏波ファイバを使用することによつて消去される。

単一偏波光ファイバは、(第6a図に示されているように)空胴38をもつたクラッド40内に単一モードコア36を配置することによつて作ら

れる。第7図には、波長の関数としての伝搬定数のグラフが示されている。第7図において、 P_1 および P_2 は、空胴38内のコア36における2つの垂直偏波モードの伝搬定数の伝搬曲線を示し、 n_1 はコア36の屈折率を示し、 n_2 はクラッド40の屈折率を示し、1は空胴38（すなわち空気）の屈折率を示す。波長領域(a)は、1偏波モードが最低次数モードのカットオフを越えている領域である。第6a図に示されている光ファイバ構造は、第5図、第5c図、および第5d図に示されている変調自在フアブリ・ペローのファイバ構造の代わりに単一偏波モードの所望の変調を与えることができる。空胴38によつて表わされるような空胴をもつた光ファイバは、通常の化学的蒸着によつて作られるプリフォームとして便宜に製造することはできないが、化学的蒸着その他の方法で作られたプリフォームは、公知のロッドアンドチューブ法（rod and tube method）に類似した方法、および／または、公知の熔融光ファイバ製品に対して通常用いられる多ファイバプリフ

ォーム技術によつて組合せて、一層複雑なプリフォームにすることができる。

コア材料36と周囲のクラッド材料40との間には熱膨張特性の不整合が与えてあるので、製造工程における線引き後にファイバ32が冷却される時、ファイバ32内には永久的な内部応力が発生する。この意図的な熱膨張特性の不整合は、複屈折性を増大させるので、ファイバの偏波保持特性を改善し、それによつて単一偏波モードのみが優勢であるスペクトル領域を広げることになる。

上述の単一偏波光ファイバは、1モードが他モードに対してカットオフされる波長領域内で動作するかどうかにかかわらず、前述の単一偏波フアブリ・ペロー装置の構造の及ばない諸利点を有する。この単一偏波光ファイバはまた、伝送線路用の偏波保持ファイバとしても有用である。上述の幾何学的構造を有する光ファイバによつて作り出される複屈折性は、従来の文献に報告された最良の結果と明らかに同等であるか、またはそれより良い結果を与える。さらに、上述の幾何学的構造を有す

る光ファイバは、外部振動による偏光の1状態から他状態への散乱を受けにくい。このファイバになんらかの外圧が加わると、主として複屈折の1主軸に沿った応力を生じるので、いずれの主軸に沿つて偏波した光の偏波状態も殆ど、または全く変化せしめられない。もし1つの偏波モードのみが存在する場合ならば、機械的な絶縁が依然として有用である。そのわけは、機械的絶縁により、外部振動に起因するその1つの偏波モードからの散乱によつて生じる損失が防止されるからである。

第5図、第5c図、および第5d図に示され、また以上において説明された変調自在ダイオード装置は、第1図および第2図のラマンポンプビーム発生器の代わりの実施例になりうる。それぞれのビーム発生器の横方向出力は、第3図に示されているような波長選択タツプに整合させることができる。さらに、もし発生器およびタツプの波長が環境の変化によつて別々にドリフトを起こせば、不整合と効率の問題が発生する。従つて、線路タツプ自体が、上述の変調自在信号発生器のレーザ

ダイオード出力を制御するようにすると便宜である。従つて、フアブリ・ペロー共振器は、好ましくはタツプおよび波長同調器の双方として用いられる。前述のフアブリ・ペロー空胴は多重共振線を有するが、第1図のラマン増幅器RAによつて代表されるラマン増幅ポンプビーム源として用いられる時は、この特徴は利点となる。そのわけは、前述のように、ブリルアン後方散乱を防止するために、ラマン増幅ポンプビーム内のスペクトル線の数を増大させることが所望されるからである。

第1図に示されているようなタツプ装置は、幹線の長さに沿つて直列にいくつか配置され、それによつて完全なラマンビーム増幅装置が形成される。横方向結合を用いているので、従来のレピータを用いた場合のように、光伝送ファイバの物理的完全性を損う必要はない。十分な出力とブリルアン後方散乱を防止するのに十分なスペクトル線数とをもっていれば、ラマン増幅を行なうためには、1つの発生器で十分である。しかし、信号源の故障を考えると、単一信号源では信頼性が低下

するので好ましくない。従つて、復紋の信号発生器を用いて、個々の故障による装置の被影響度を低下させる。

第5図、第5c図、第5d図、および第6図に関連して上述された形式のラマン増幅ポンプビーム装置は、幹線の短い部分上の組立点にあらかじめ作りつけておくのが便宜であり、この幹線挿入体は、もし所望ならば非波長選択性結合を用いて主幹線内に接合することができる。別個の線路の挿入によつて光ファイバの物理的完全性は中断され、ポンプ線は両方向へ注入される。両方向性のポンピングは、第1図に概略的に示されている広帯域フィルタWBFのような広帯域フィルタタツプを装置のレーザダイオードの上流に配置することによつて克服される。幹線に横方向結合せしめられるこのフィルタタツプは、全てのポンプビーム用レーザダイオード線を通過させる十分広い帯域を有すべきであるが、信号チャネルを通過させてはならない。タツプファイバの左端部には鏡があるので左方へ進む光は反射されて線路内へ帰され、

所望方向へ進行せしめられる。左方／右方経路はもう1つの干渉計を構成しているが、その諸フアブリ・ペロー共振器との相互作用は、この通信装置に悪影響を与えることはない。

ラマン増幅ポンプビームに必要とされる全電力は、コア材料、幹線のコア直径、所望の利得量、単位長あたりの幹線損失、および全信号出力などの諸因子による。特定の例を以下にあげる。

例

もし、コア材料が10%のゲルマニア GeO_2 によつてドーパされた融解シリカであれば、カットオフ状態において単一モードで動作する、直径4ミクロンのコアにおけるラマン利得は、ポンプ出力の1ワットあたり、約50 dB/Kmになる。この利得は、全信号出力がポンプ出力に比し小さい限り、単位面積あたりのポンプ出力に比例し、幹線の長さに沿つて単純な指数関数的利得が生じる。もし、線路損失が1 dB/Kmならば、有効増幅長は約6 Kmになる。もし、10 dBの全信号利得が所望されるならば、 $1/30$ ワットのポンプ出力が

必要である。もし、全信号増幅が $1/30$ ワットを超えれば、所望される信号出力を十分に供給しうる量の、さらに大きいポンプ出力が必要になる。

装置内における信号出力レベルを選択する場合、チャネル毎の最低レベルは光る雑音に関する前述の判断基準によつて決定される。最高レベルは通常、チャネル間ラマン増幅によつて決定される。もし、定振幅変調が使用される場合であれば、この効果から起こるチャネル間の漏話は無視できるが、信号レベルの調整に関して生じる諸問題を回避するための注意が必要となる。前述のように、短波長チャネルは長波長チャネルをポンプする。この効果を補償するには、それぞれのラマン増幅段RA（またはRA'）における短波長チャネルによる利得が大きくなるように合成ラマン利得曲線を整形して、短波長チャネルが長波長チャネルをポンプするためのエネルギーをもつようにし、それによつて、より直線的な、すなわち「等化された」増幅応答を実現すればよい。定振幅変調が使用されない場合には、チャネル間に漏話を生じるが、

これは信号レベルを下げることによつて制御される。いずれの場合にも、最高レベルは、用いられる信号チャネルの総数と、チャネル間の間隔との影響を受ける。たとえ、わずかな数のチャネルしか用いられなくても、最高信号レベルは他の非線形光学効果によつて決定されることになる。最高信号レベルは決定されなくても、以下の限界以内で動作させる方が安全である。

チャネルスペクトルが 300 cm^{-1} （波数）を超えない場合は、1チャネルあたり1ミリワットを超えないように、また全信号出力が100ミリワットを超えないようにする。これは、1ないし1.5ミクロンの波長範囲での定振幅変調を仮定している。ラマン増幅段あたりの所望利得は、最高安全信号レベルの最低安全信号レベルに対する比に等しい。

信号レベルの制御を行なう検出器および制御装置は、線路12から出力の小部分を取出す部分タツプT（第8図）から成る。タツプTは必ずしも波長選択的なものでなくてもよいが、そうであつ

てもよい。Tタツプに続いてるつのフィルタタツプ FT_1 、 FT_2 、 FT_3 があるが、これらの帯域幅は極めて狭いものではない。それぞれのフィルタタツプは検出器 D_1 、 D_2 、 D_3 に接続されており、これらの検出器の出力はラマンポンプからの入力を調節するための制御信号として使用される。いくつかの増幅区域を経た後、真の帰還信号（第9図）が信号チャネルから増幅の後取出され、使用されていないチャネルを経て上流部へ帰還されて、分配信号レベルに対して追加の調節を行なう。定出力レベルを伝送する1つまたはそれ以上の非変調信号チャネルが前記信号チャネル間に挿入されて、基本線路情報用に用いられ、それによつて伝送レベル情報が得られる。活動する信号チャネルは、レベルが各瞬間における実際の変調速度によつて変化するために、これを単独で監視用に用いることは望ましくない。しかし、前述の波長偏移変調信号発生器SGを利用した、波長偏移変調を用いれば、諸チャネルは変調とは無関係に一定レベルを伝送することができ、そのそれぞれが単独で、

またはグループをなして下流部の出力レベルに関する情報を供給することによつて前の増幅区域を制御することができる。

本技術分野に精通する者ならば容易にわかるように、特許請求の範囲に定められている本発明の精神および範囲から逸脱することなく、上述の実施例に対してさまざまな変更および改変を施すことが可能である。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、周期的に信号の再生を行なうためにラマン効果増幅を利用した本発明光通信装置の概略構成図、第2図は、融解シリカにおける正規化されたラマン利得係数およびブリルアン利得係数を示すグラフ、第3図は、ラマン効果光信号増幅器および信号発生器の実施例を示す概略構成図、第4図は、本発明において使用される多重ラマン効果ビーム増幅における、合成ラマン利得曲線（破線）を示すグラフ、第5図は、本発明のパルス信号発生器の実施例を示す概略構成図、第5a図は、情報がパルスの存在または不存在によつて

符号化されるパルス符号変調方式を説明するためのグラフ、第5b図は、情報が選択された波長の存在または不存在によつて伝送される定振幅波長偏移変調方式を示すためのグラフ、第5c図は、第5図に示されている信号発生器の別の実施例を示す概略構成図、第5d図は、第5図に示されている形式の変調自在信号発生器の概略構成図、第6図は、本発明に従つて信号変調を行なう変調自在ファイバ・ペロー装置の概略構成図、第6a図は、第6図の変調自在ファイバ・ペロー装置に用いられる単一偏波モードファイバの概略構成図、第7図は、第6a図の構造をもつファイバの伝搬定数を波長の関数として示すグラフ、第8図は、第3図のレーザダイオードの制御を行なうための信号レベル検出装置の概略構成図、および第9図は、前の増幅器を制御するための増幅信号情報の帰還構造を示す全体図である。

10…レーザ・ダイオード、12…主幹線、13…カッパラ線路セグメント、14…主タツプ、100…光ファイバ通信装置、(SG)…パルス信

号発生器、(S_1 、 S_2 、 S_3 、…、 S_{n-1} 、 S_n)…光ファイバセグメント、(RA_1 、 RA_2 、 RA_3 、 RA')…ラマン増幅器。

代理人 浅 村 皓

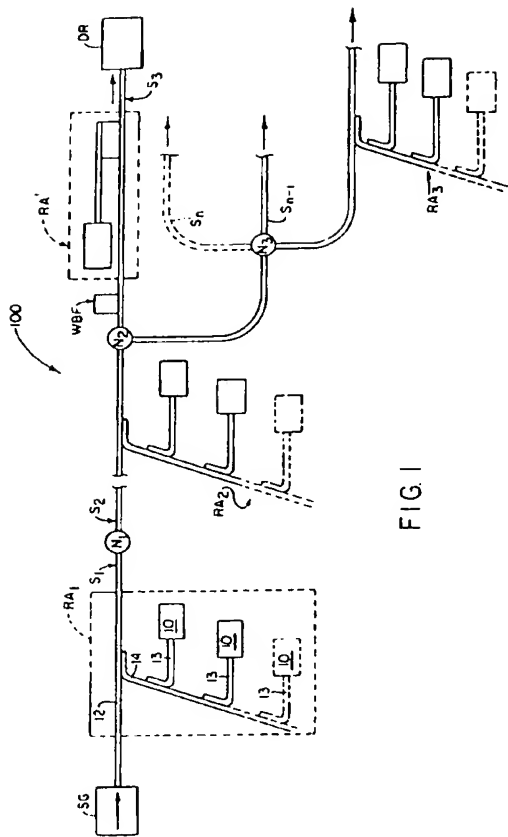


FIG. 1

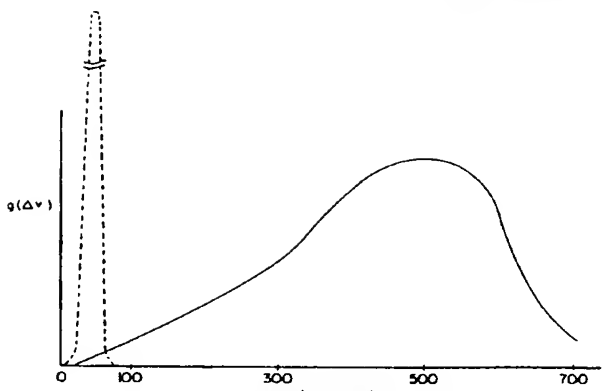


FIG. 2 $\Delta\nu$. 周波数偏移 cm^{-1}

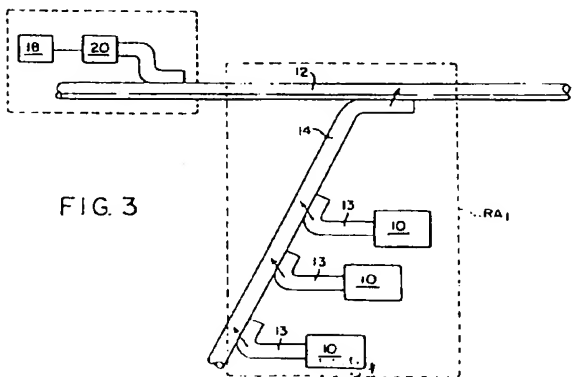


FIG. 3

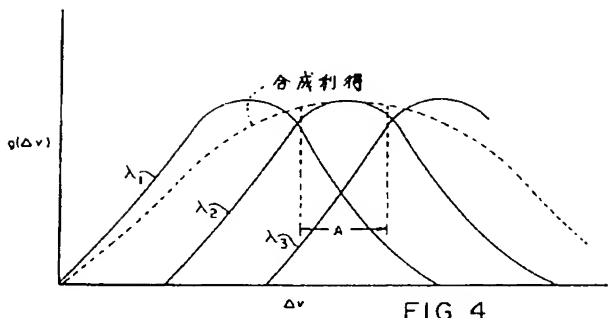


FIG. 4

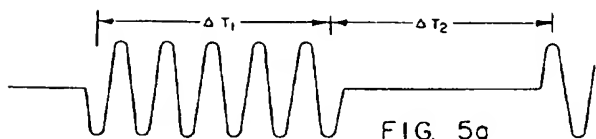


FIG. 5a

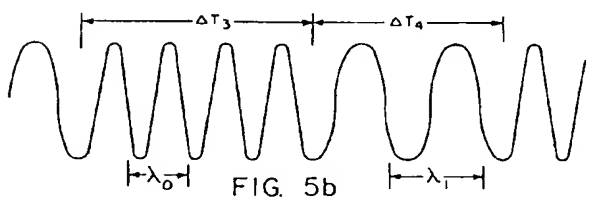


FIG. 5b

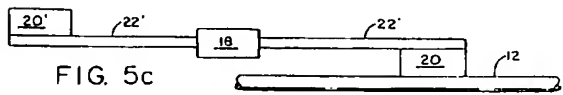


FIG. 5c

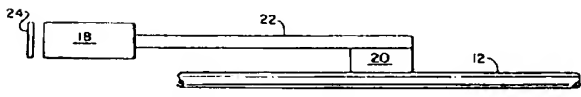


FIG. 5

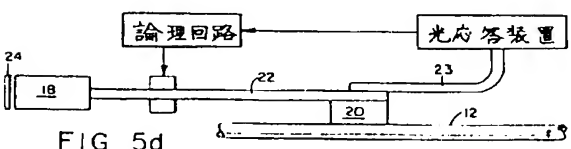


FIG. 5d

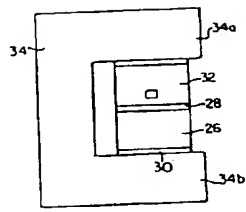


FIG. 6

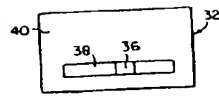


FIG. 6 a

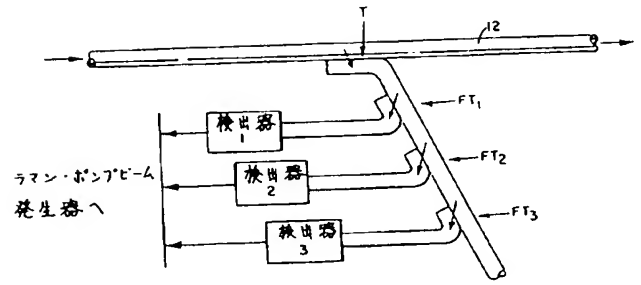


FIG 8

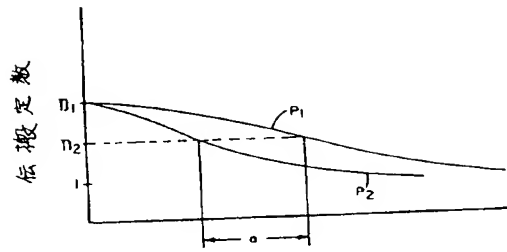


FIG. 7

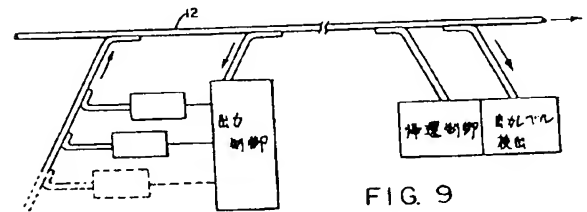


FIG. 9